

METODOLOGÍAS DE DISEÑO MECÁNICO Y MODELAMIENTO 3D PARA LA
MANUFACTURA FLEXIBLE DE TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS PCB's

Katherine Osorio Arroyave

Proyecto de grado presentado como requisito parcial
para aspirar al título de Ingeniera Mecánica

Director

Ing Germán A. Holguín L, M.Sc.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
PEREIRA

2020

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado 1 - Evaluador

Firma del jurado 2 - Evaluador

Firma del jurado 3 - Director

Pereira, Diciembre de 2020

A mi hija Valeria y a mis padres y mi hermana, quienes han sido mi soporte y mi motivación para emprender y continuar todo aquello que me propongo.

Agradecimientos:

Al programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira por todo el conocimiento que me ha aportado durante todo este proceso.

Al ingeniero Carlos Andrés Mesa de la facultad de Ingeniería Mecánica por todos sus aportes y conocimiento en el área de diseño mecánico y modelamiento 3D.

Al Ingeniero Germán Andrés Holguín Londoño, mi director y guía durante el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
1 INTRODUCCIÓN	15
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo General	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
2 ESTADO DEL ARTE	19
3 MARCO TEÓRICO	21
4 METODOLOGÍA	23
4.1 Metodología de diseño CAD/CAM de PCBs basada en el nuevo modelo de Eagle AutoDesk [Objetivo específico 1].	25
4.1.1 Barra de Herramientas Esquemático Eagle AutoDesk	28
4.1.2 Interfaz Board Eagle AutoDesk	31
4.2 Metodología para el modelamiento 3D, foto-realista, de PCBs creados en Eagle AutoDesk [Objetivo específico 2].	32
4.2.1 Generación de modelos 3D contenidos en Eagle AutoDesk	32
4.2.2 Generación de modelos 3D no contenidos en Eagle AutoDesk	37
4.3 Análisis de las implicaciones de la transición de Eagle a AutoDesk [Objetivo específico 3].	53
4.3.1 Análisis comparativo entre AutoDesk Eagle y Altium Designer	57

4.3.2	Precios de suscripción:	59
4.4	Desarrollo CAD/CAM de un dispositivo electrónico, haciendo uso de la metodología propuesta [Objetivo específico 4].	60
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1	CONCLUSIONES	67
5.2	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE FIGURAS

1	Diagrama de flujo para la generación de diseños mecánicos en la manufactura de circuitos impresos PCB.	23
2	Diagrama de flujo para la generación CAD/CAM con eagle Autodesk y Fusion 360.	24
3	Sitio Web oficial de AutoDesk a octubre de 2020.	25
4	Menú para obtener productos de AutoDesk.	26
5	Interfaz Gráfica de Eagle AutoDesk.	27
6	Pasos para la creación de un nuevo proyecto en Eagle.	27
7	Interfaz y espacio de trabajo del diagrama esquemático de Eagle.	28
8	Interfaz y espacio de trabajo de la Board en Eagle AutoDesk.	33
9	Diagrama de flujo para el modelado 3D de componentes electrónicos utilizando las herramientas de Eagle AutoDesk.	33
10	Generación de diseño de bloque en el diagrama esquemático.	34
11	Generación de componentes electrónicos en el espacio de trabajo de la Board.	35
12	Diseño de bloques generado en el diagrama de circuitos.	36
13	Previsualización de la placa mediante el uso del botón “Manufacturing”.	37
14	Información relacionada a la Manufactura de la PCB generada a partir del botón Manufacturing.	38
15	Confirmación de creación de diseño en Fusion 360, generado a partir del botón “Fusion 360.	38
16	Verificación de componentes en 3D para generar modelo en Fusion 360.	39
17	Importación de PCB en 2D a Fusion 360.	39
18	Espacio de trabajo de Fusion 360 y listado de modelos generados.	40

19	Modelado 3D en Fusion 360 de diagrama de bloques contenido en Eagle. . . .	40
20	Página de inicio de Library i.o.	41
21	Menú de opciones de Libray i.o.	42
22	Importación de librerías en Eagle.	43
23	Inclusión de librerías en Eagle.	43
24	Edición de librerías en Eagle.	44
25	Adición de encapsulados 3D en Eagle.	44
26	Creación del Manged Library.	45
27	Generación del Managed Library en Eagle.	45
28	Generación de encapsulados 3D en el Managed Library.	46
29	Generación de Librerías en Library i.o.	47
30	Ventana con información asociada a la librería.	48
31	Creación de modelos 3D a partir del uso del Library i.o.	48
32	Creación de modelos 3D mediante el uso del botónGenerate.	49
33	Datasheet del proveedor. Tomada de Digikey [1].	50
34	Datos requeridos para la generación de modelos 3D en library i.o mediante el uso del botón Generate.	50
35	Listado de accesorios en Library i.o.	51
36	Edición de componentes en Library i.o.	51
37	Modelado de componente tipo SOP a través de la opción Generate del Library i.o.	51
38	DataSheet del proveedor para componente 8-SOP. Tomada de Digikey [2]. . . .	52
39	visualización de área de trabajo de plantillas en el Library i.o.	52

40	Modelo 8-SOP generado a partir de plantilla en Library IO.	53
41	Solicitud para la creación de la nueva versión de la librería.	54
42	Procedimiento para actualizar los modelos contenidos en las librerías dentro de Eagle.	55
43	Ubicación de los proyectos en Eagle.	56
44	Visualización del proyecto en el panel de control de Eagle AutoDesk.	56
45	Alerta sobre librería que no se encuentran incluidas en Eagle y que se requieren para trabajar el proyecto.	57
46	Librerías incluidas por defecto en el diseño.	58
47	Actualización de las librerías y sus componentes 3D actualizados desde el Library i.o.	60
48	Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 1.	61
49	Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 2.	62
50	Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 3.	62
51	Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 4.	63
52	Resultado de la exportación del modelo desarrollado en Eagle a Fusion 360. . .	63
53	Renderización del modelo 3D en Fusion 360.	64
54	Librería de apariencias bajo el espacio de trabajo de renderizado.	64

1 INTRODUCCIÓN

El mundo actual es dependiente de la tecnología y cada día se agregan al mercado nuevos dispositivos con diferentes objetivos y funcionalidades. La mayoría de estos dispositivos son de naturaleza electrónica y por tanto una de sus principales componentes es la comúnmente denominada placa base, o placa madre, cuyo nombre técnico es tarjeta de circuito impreso, o PCB por sus siglas en inglés (Printed Circuit Board).

Una PCB es una placa laminada de múltiples capas, algunas de ellas conductoras y otras aislantes. Los componentes eléctricos y electrónicos están adheridos a las caras externas de la placa. Antes de la prevalencia de las PCBs, los componentes se interconectaban mediante cables, aumentando significativamente la complejidad de las conexiones, reduciendo la confiabilidad, y la escalabilidad de los sistemas. En las PCBs, todas las conexiones son internas, eliminando los problemas de confiabilidad y escalabilidad mencionados, [3].

La popularización de las PCBs es una de las razones para el crecimiento exponencial de los dispositivos electrónicos, por lo que se hizo necesario desarrollar métodos para la fabricación automatizada y masiva de PCBs. La manufactura flexible fue de vital importancia para esta labor. Hoy por hoy, la fabricación de PCBs se puede realizar tanto a bajo volumen como a grandes escalas, gracias a los diseños asistidos por computador, [4].

Sin embargo, en los países en desarrollo, la fabricación asistida de PCBs se ha limitado principalmente a la perforación controlada numéricamente y la ubicación de componentes en la placa. Para cerrar la brecha existente, es necesario familiarizar a los desarrolladores con las herramientas de CAD/CAM que puedan aumentar el grado de automatización en los procesos de diseño y manufactura de las PCBs.

Lo esperado en una herramienta de diseño de PCBs es la capacidad de modelar realísticamente todos los aspectos eléctricos y mecánicos de la placa. Algunas herramientas poseen capacidades de modelamiento 3D y renderización foto-realista del producto final. Sin embargo, sólo recientemente el diseño de PCBs se puede combinar con herramientas para el modelamientos de esfuerzos mecánicos, estudios de fatiga de materiales y análisis de vibraciones, [5].

El costo asociado al diseño CAD/CAM puede ser un factor determinante a la hora de escoger el conjunto de tecnologías con las que el desarrollador va a realizar su trabajo. Este trabajo busca explorar algunas alternativas de herramienta de diseño, y proveer una metodología clara para la obtención de los modelos 3D de la placa, sin dejar de lado, las consideraciones eléctricas necesarias.

Una de las herramientas más conocidas y utilizadas para el desarrollo de PCBs es conocida como Eagle, que hasta hace poco fue propiedad de la empresa alemana CADSOFT. Sin embargo, la herramienta Eagle ahora fue adquirida por la compañía AutoDesk, que es muy conocida por sus enormes capacidades en diseño mecánico. Esta nueva condición de Eagle, genera nuevos retos, pero a la vez ofrece nuevas capacidades que hasta ahora no estaban disponibles para los desarrolladores de PCBs, [6].

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La colaboración entre los diseños eléctrico (ECAD) y mecánico (MCAD) se ha convertido en una necesidad a nivel industrial, obligando a múltiples compañías a crear relaciones estrechas entre ambas secciones. Muchas veces, se tiende a pensar que los diseños eléctrico y mecánico pueden considerarse excluyentes, pero mas frecuentemente ellos son de naturaleza co-dependiente, [7].

En el diseño electrónico de sistemas embebidos, la ausencia de integración entre las diferentes secciones, produce un mayor número de iteraciones, lo cual afecta la productividad, el costo total de producción y el tiempo total de desarrollo.

Aún cuando se utilicen herramientas sistematizadas, ésta colaboración ha tenido siempre los mismos problemas, sin importar que formatos de diseño se utilicen en su desarrollo. La comunicación entre formatos siempre genera algún tipo de complejidad, debido a que usualmente no tienen una base común, y por lo tanto, es necesario contar con formatos de archivos de intercambio que operan como un intermediario, tales como STEP, IDF, IGES, entre otros, [6]. Este paso intermedio, además de conllevar un consumo de recursos computacionales extra,

también genera un conflicto interno entre los distintos fabricantes, puesto que no existe una homogeneidad en la manera en que cada uno realiza sus procesos, [6].

Entre las diferentes soluciones que se han propuesto para amortiguar tales conflictos, se han desarrollado metodologías que permiten realizar de una manera casi directa el intercambio de información mediante el uso de *wrappers* que facilitan el diálogo entre las diferentes herramientas informáticas. Sin embargo, estas soluciones no han sido del todo satisfactorias, puesto que el uso de los *wrappers* implica la instalación de software, [7].

Para solventar tal problema, AutoDesk-Eagle ofrece una comunicación directa entre las diferentes herramientas de diseño, permitiendo integración e interoperabilidad. Como resultado de esta colaboración surge “Fusion 360”, herramienta que permite realizar de manera simultánea el diseño eléctrico y mecánico del PCB, [6].

Dentro de AutoDesk EAGLE se tendrá un nuevo panel de control, Fusion Sync, que mantiene conectado en todo momento con el diseño mecánico en Fusion 360, es decir, que todos los cambios que se realicen en EAGLE Autodesk se verán reflejados en Fusion y viceversa, acomodándose a la necesidad especial de cada usuario.

En lugar de rastrear los cambios de diseño en una hoja de cálculo, todas las necesidades de control de versión se manejan en Fusion Team Collaboration, incluido de manera gratuita con Fusion 360. Esto facilita prever y conocer con mayor precisión que problemas pueden surgir en el diseño mecánico ya que puede trabajar en conjunto con el diseñador mecánico. puede importar un nuevo archivo de placa desde Fusion 360 a EAGLE, [6].

Debido a este nuevo paradigma para el diseño electrónico y mecánico integrado, es necesario estudiar las implicaciones y las nuevas metodologías necesarias para el desarrollo electrónico, diseño mecánico y modelamiento 3D de proyectos con PCBs.

1.2 JUSTIFICACIÓN

EL presente proyecto se realiza con la intención de identificar las ventajas y desventajas que presente la integración de Eagle con AutoDesk y los beneficios que puedan desprenderse al

contemplar la integración CAD/CAM bajo una misma casa matriz, considerando, que anteriormente para la exportación de los proyectos CAM a un software CAD se debían utilizar y adicionar Extensiones y realizar una serie de procesos ajenos al desarrollo puntual del proyecto pero necesarios para llevarlo a cabo, adicional se analizarán las implicaciones que pueda conllevar el hecho que Eagle pase de ser un programa libre, a tener Licencias educativas, profesionales, y bajo la modalidad Freeware, pero bajo una versión limitada.

Adicional se analizará el nivel de dificultad que pueda representar para el usuario, la generación de modelos 3D, considerando que anteriormente la obtención de los mismo se realiza por medio de librerías asociadas a los programas CAD utilizados para este fin.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Identificar y desarrollar una metodología para el modelamiento y diseño CAD/CAM de tarjetas de circuito impreso, utilizando las nuevas capacidades ofrecidas por la integración entre AutoDesk y Eagle, a través del software Fusion 360.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar una metodología de diseño CAD/CAM de PCBs basada en el nuevo modelo de Eagle AutoDesk.
- Determinar una metodología para el modelamiento 3D, foto-realista, de PCBs creados en Eagle AutoDesk.
- Analizar las implicaciones de la transición de Eagle como software freeware, al modelo de negocio del ecosistema de software AutoDesk.
- Desarrollar el modelo mecánico CAD/CAM de un dispositivo electrónico completo, haciendo uso de la metodología propuesta.

2 ESTADO DEL ARTE

La integración y el diseño de tecnologías CAD/CAM en los procesos de fabricación es cada vez mas usual por la confiabilidad, eficiencia y eficacia que se obtiene al ser un proceso que permite visualizar de manera simultánea el modelo CAD y el proceso de manufactura CAM implicado, la puesta en práctica de estas metodologías se encuentra principalmente en la integración con las máquinas de corte láser, torno, fresadoras y afines controladas bajo la tecnología CNC, con el crecimiento industrial y la implementación de la automatización en todos los campos productivos, la integración CAD/CAM se configura como una parte esencial del proceso.

Hasta el verano de 2016 cuando Eagle aún hacia parte de CadSoft, la integración CAD/CAM se debía realizar utilizando software pertenecientes a otras casas para el modelado 3D, principalmente a través de Google SketchUp por su sencillez y facilidad en el manejo, para este caso, por ejemplo debían obtenerse complementos adicionales como “EagleUp y Plugins de renderización opcionales como Maxwell y Kerkythea para brindar acabados foto-realistas, los modelos 3D podían obtenerse en el almacén online de Google, “3D Warehouse”, el cual contiene una extensa librería de modelos 3D propios de SketchUp, y sólo en caso de no encontrarlos, también podían obtenerse modelos de componentes electrónicos desde Digi-Key o 3D Content Central, este último propio de Dassault Systemes, sin embargo, al pertenecer a otras casas, era necesario contar con los programas de modelado 3D propios de cada una y con su respectivas licencias para poder acceder y realizar la importación de los modelos en éstos y el posterior cambio de formato hacia uno que fuera legible por SketchUp como lo es el formato .stl, este proceso suponía en ocasiones problemas para la lectura y diferencias en la escalabilidad que debían corregirse al importar finalmente en SketchUp.

Con la integración de Eagle dentro de los programas ofrecidos por AutoDesk, aún es posible acceder a una licencia personal gratuita de este software bajo un versión limitada para los fanáticos, la cual incluye dos hojas de esquemáticos, dos capas de señal y un área de la placa de 80 cm^2 , [8].

3 MARCO TEÓRICO

CAD/CAM hace referencia al software que se utiliza para diseñar y fabricar productos con la asistencia de sistemas automáticos de producción y que usualmente cuentan con características de flexibilidad. Surge bajo la necesidad de crear un flujo de trabajo eficiente, eficaz y confiable considerando que el uso de herramientas CAD/CAM no integradas para desarrollar productos ha creado una barrera de comunicación entre el equipo de diseño y producción generando problemas de calidad, tiempo y reprocesos que repercuten en el costo y fiabilidad del producto, en especial cuando se requieren realizar cambios que comprometen la viabilidad en su fabricación. CAD consiste en usar las tecnologías informáticas para el diseño y la documentación de diseño, el software CAM usa los modelos y ensamblajes creados en el software CAD para generar trayectorias de herramientas que dirijan las máquinas encargadas de convertir los diseños en piezas físicas. El software CAD/CAM se utiliza generalmente para maquinado de prototipos y piezas terminadas. [4].

Para el correcto diseño de PCB's es necesario considerar las distintas normas. A continuación se nombran las principales a considerar y su enfoque:

- 2221B: Norma genérica sobre diseño de circuito impreso.
- 2222A: Estándar de diseño seccional para placas orgánicas rígidas.
- 2223D: Estándar de diseño seccional para placas impresas flexibles/rígidas-flexibles.
- 2224: Estándar para PCB de PC.
- 2225: Estándar de diseño seccional para módulos orgánicos multichip (MCM-L) y MCM-L.
- 2226: Estándar de diseño seccional para placas de interconexión de alta densidad (HDI), [9].

Por otro lado, la norma IPC 7351 está enfocada en los requerimientos generales para el montaje de componentes en la superficie de la placa, cubre el diseño de patrones terrestres para todo

tipo de componentes pasivos y activos, incluidos resistores, condensadores, MELF, SSOP, TSSOP, QFP, BGA, QFN y SON, [9].

La IPC 600 para la Inspección de PCB sin ensamblar, es usada por la gran mayoría de los fabricantes de circuitos impresos.

- La JSTD-001 para requerimientos de soldaduras, fluxes, limpiadores. Esta la usan los soldadores y ensambladores.
- La IPC 620 para aceptación de cables y harneses, de industrias como maquinaria, automotriz, espacial.
- La IPC 7711/21, para reparación, retrabajo o modificación de PCB, [10].

Adicional a las normas que se deben tener presentes es necesario conocer para el caso en el que se requiera realizar diseños a pequeña escala, los procedimientos correctos para la aplicación de la soldadura y evitar problemas como los puentes de soldadura, que hace referencia a la unión por medio de la soldadura que se desborda de los pads y erroneamente comunica pads de otros componentes. Esto se ve especialmente en la soldadura de componentes muy pequeños, y que de no detectarse a tiempo puede ocasionar un corto circuito y/o quemar el componente. También se pueden generar problemas al aplicar soldadura fría o a temperaturas por fuera de la especificación. Esto puede deberse a una insuficiente transferencia de calor a la unión para derretir la soldadura por completo, bien sea porque no ha habido el tiempo suficiente para calentarse, o por el tipo de soldadura, o por el mal diseño de los pads y/o las pistas, [11].

4 METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo del presente trabajo va a estar compuesta por las actividades que se describen en el diagrama de flujo de la figura 1.

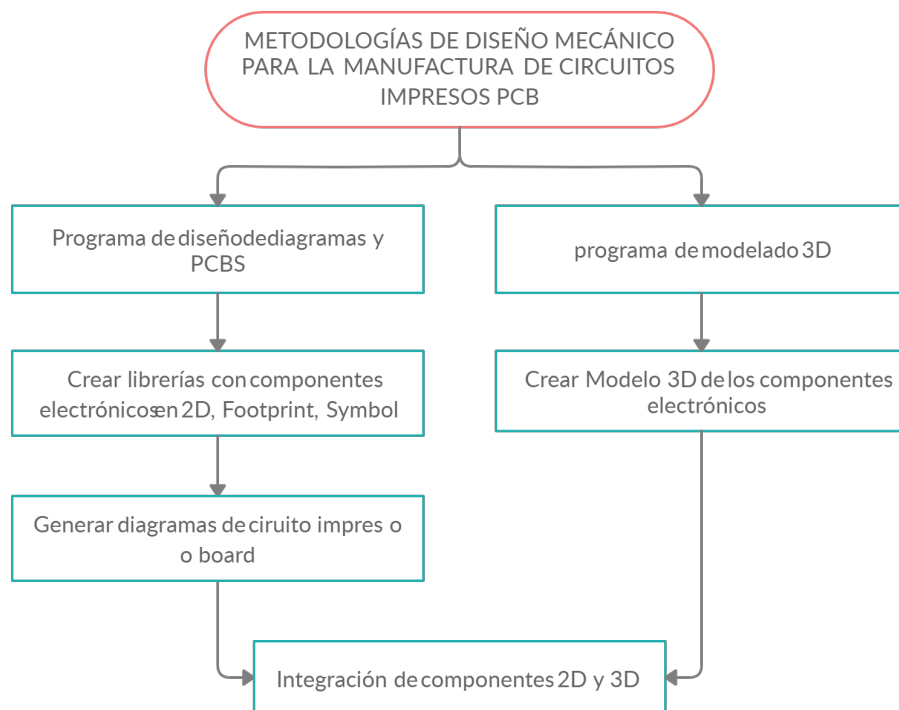


Figura 1. Diagrama de flujo para la generación de diseños mecánicos en la manufactura de circuitos impresos PCB.

Esta metodología contempla el procedimiento general que debe llevarse a cabo dentro de las distintas integraciones existentes entre CAM/CAD, la particularidad en cada una de ellas se encuentra en la facilidad para utilizarlas, para la obtención de los componentes y la optimización de los procesos.

En esta sección en particular se desglosa la metodología general en dos partes, la primera se enfoca en los procedimientos que se requieren para la obtención del diseño CAD/CAM a partir del uso de las herramientas de Eagle y Fusion 360, considerando que Eagle ha sido una de los software más utilizados y representativos en el mundo de la generación de circuitos impresos PCB's, y Por la otra parte Autodesk es una de las compañías más representativas dedicada

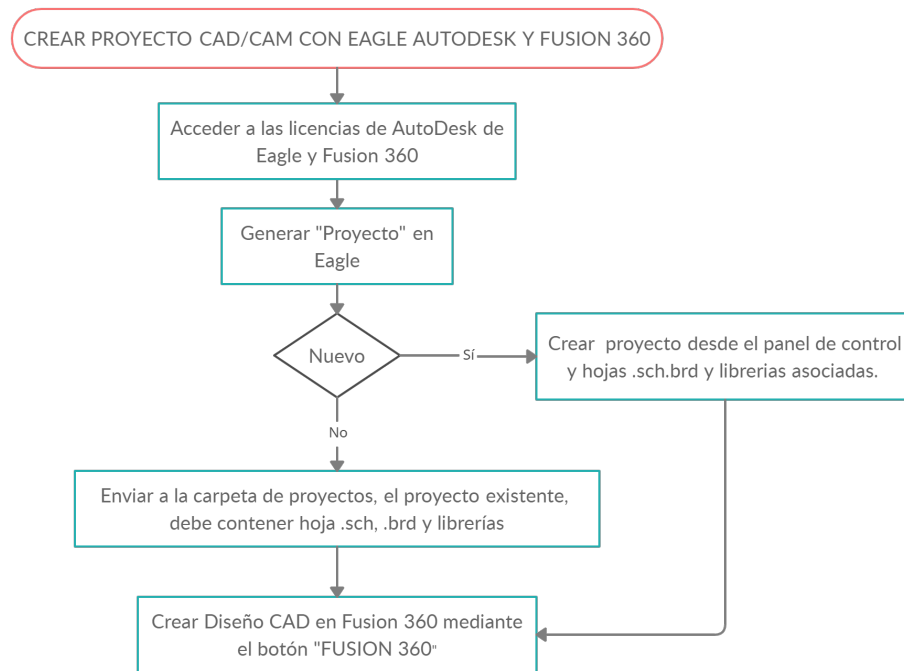


Figura 2. Diagrama de flujo para la generación CAD/CAM con eagle Autodesk y Fusion 360.

al Software de diseño 2D y 3D para las industrias de manufacturas [12]. Al día de hoy es posible acceder a las características de ambos productos por medio de una licencia educativa, equiparable a la versión más completa con una vigencia de un año o también por medio de una licencia gratuita pero bajo una versión limitada, que tiene una vigencia de un año. Los pasos a seguir para realizar lo indicado, puede entenderse mejor bajo el diagrama de flujo ilustrado en la figura 2.

La segunda parte de la metodología busca definir los procedimientos que se deben realizar, específicamente para la generación del modelado 3D utilizando los software anteriormente mencionados. Este procedimiento se encuentra contemplado como parte del segundo objetivo del presente documento.

4.1 Metodología de diseño CAD/CAM de PCBs basada en el nuevo modelo de Eagle AutoDesk [Objetivo específico 1].

Para obtener los programas mencionados anteriormente, se debe ingresar al sitio oficial de Autodesk, disponible en la dirección <https://www.autodesk.com> que para octubre de 2020 luce como se muestra en la figura 3.

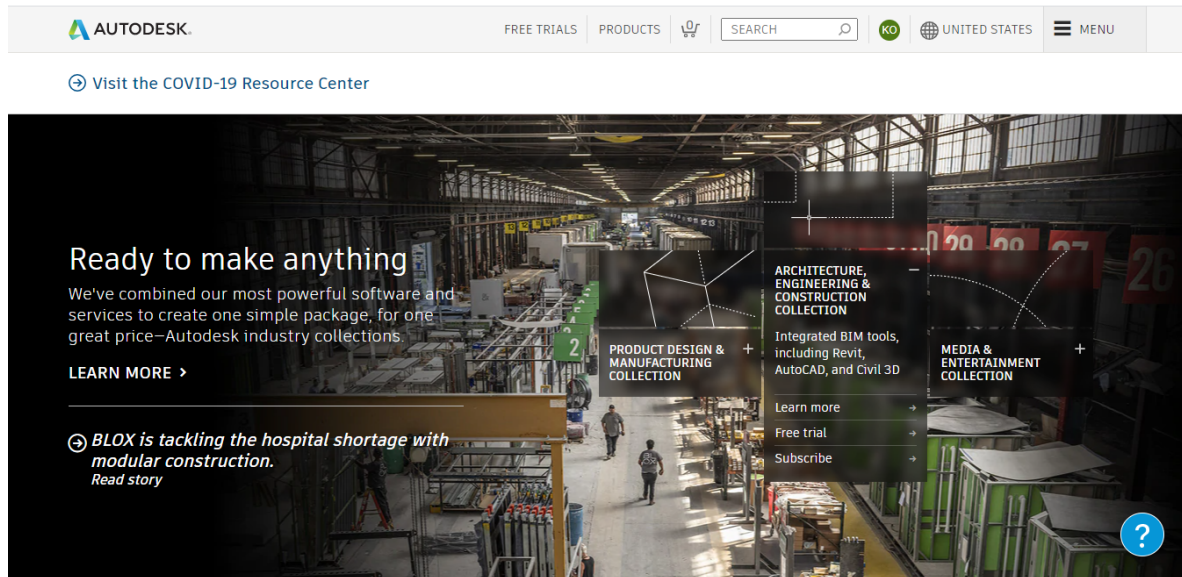


Figura 3. Sitio Web oficial de AutoDesk a octubre de 2020.

AutoDesk ofrece a los estudiantes y/o educadores una licencia educativa con una vigencia de un año para acceder a todos los productos ofrecidos, y los cuales tienen un equivalente de la versión Premium de Autodesk para uso educativo y no comercial, Estos productos pueden ser utilizados incluso en equipos y dispositivos personales realizando el inicio de sesión bajo la cuenta de la comunidad educativa, los estudiantes deben tener más de 13 años para poder utilizar este servicio, adicionalmente Autodesk ofrece Software CAD en la nube y en línea fácilmente lo que permite tener acceso a los proyectos personales en cualquier momento y desde cualquier servidor, [3]. Para descargar los productos se debe crear el usuario con el correo educativo, una vez realizado sólo se requiere buscar el producto y descargarlo bajo el sistema operativo requerido, que puede ser Windows, Mac y Linux, tal y como se observa en la figura 4; sin embargo tener presente que sólo algunos productos se encuentran disponibles

bajo los tres sistemas operativos.

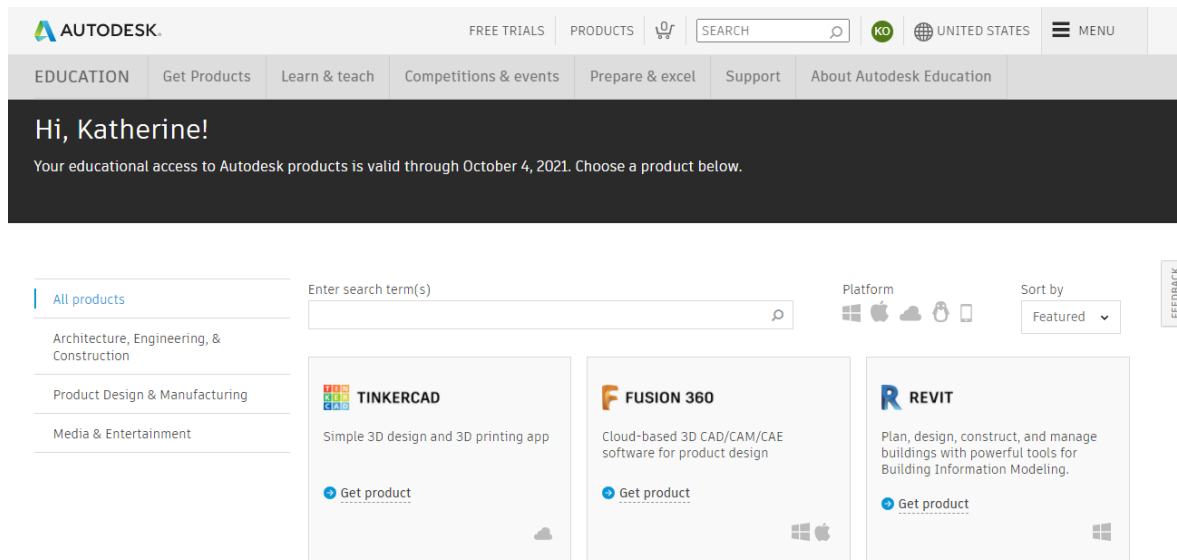


Figura 4. Menú para obtener productos de AutoDesk.

Al abrir Eagle por primera vez se observa el panel de control que contiene una lista desplegable con librerías que contienen una amplia cantidad de partes incluidas por defecto y con la posibilidad de adicionar posteriormente partes creadas por el usuario que se ajusten a los requerimientos específicos de cada proyecto , también contiene ejemplos de diseño de bloques, reglas de diseño, entre otros, que serán de utilidad para entender la metodología y alcance de diseño.

Para iniciar un nuevo proyecto en AutoDesk Eagle se debe abrir el producto y dar clic sobre la opción **File/New/Project** como se muestra en la figura 5 esta opción genera automáticamente una nueva carpeta ubicada en **Este Equipo/Documentos/Eagle/Projects** que contendrá el nuevo proyecto.

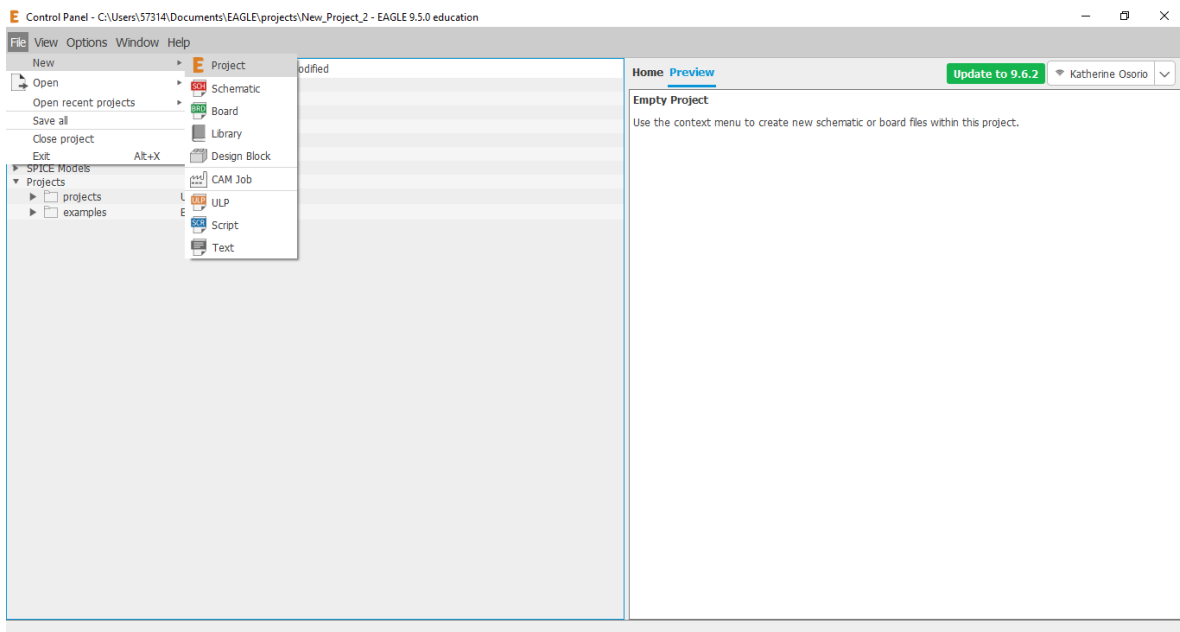


Figura 5. Interfaz Gráfica de Eagle AutoDesk.

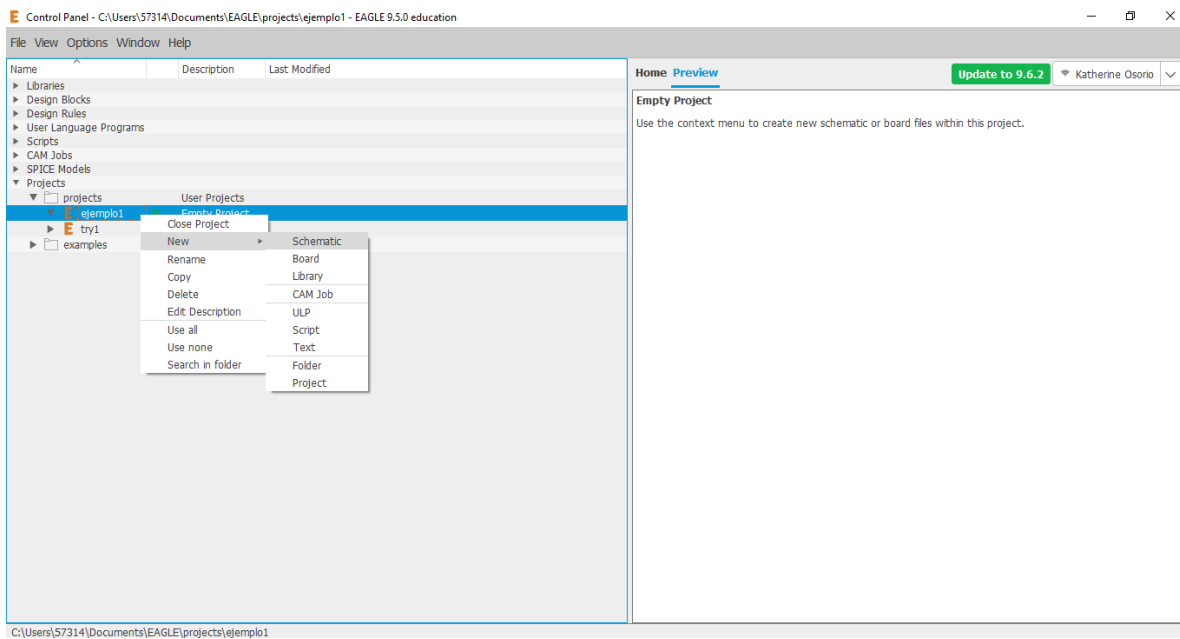


Figura 6. Pasos para la creación de un nuevo proyecto en Eagle.

En el panel de control de Eagle, en la sección “Projects” se encuentra una lista desplegable con dos opciones que son “Projects” y Examples” en la primera se ubicarán los proyectos que el usuario haya creado y en la segunda, como su nombre lo indica, se encuentra una serie de

ejemplos creados por defecto, los cuales son útiles para entender el procedimiento y el alcance de esta nueva herramienta de AutoDesk.

Una vez se crea el proyecto, se debe dar clic derecho sobre el mismo y buscar las opciones **New/Schematic**, como se muestra en la figura 6, esto abrirá la ventana del esquemático donde se creará el diagrama del dispositivo electrónico, ver la figura 7, [13].

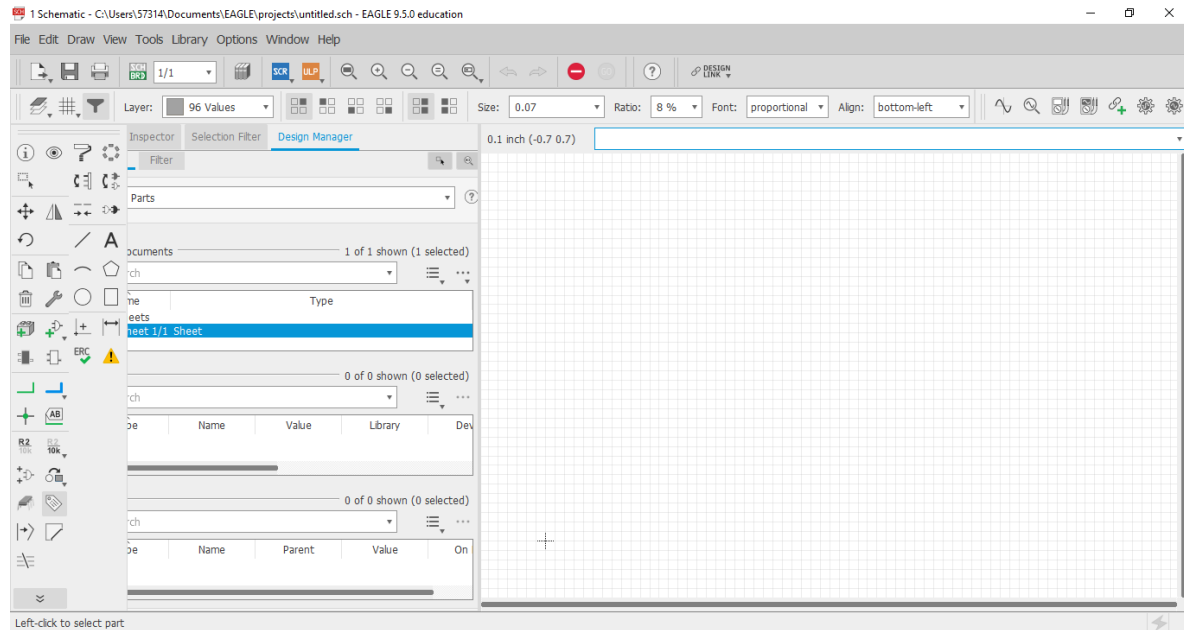


Figura 7. Interfaz y espacio de trabajo del diagrama esquemático de Eagle.

4.1.1 Barra de Herramientas Esquemático Eagle AutoDesk

A continuación se indica la funcionalidad de las principales herramientas que contiene la ventana esquemática de Eagle dentro de su espacio de trabajo:



Herramienta **Info**: Permite observar las propiedades de cada elemento dentro de la hoja de esquemático.



Herramienta **Show**: Permite observar el conjunto de elementos..



Herramienta **Group**: Permite definir un grupo de elementos.



Herramienta **Move**: Permite desplazar libremente los objetos dentro del esquemático



Herramienta **Mirror**: Permite realizar una copia reflejada de un símbolo seleccionado.



Herramienta **Rotate**: Permite cambiar de posición el símbolo del elemento.



Herramienta **Copy**: Permite copiar individualmente los símbolos insertados dentro del área de trabajo de la hoja de esquemático.



Herramienta **Delete**: Permite eliminar el símbolo seleccionado.



Herramienta **Design Block**: Esta herramienta es nueva dentro de Eagle Autodesk y su principal función consiste en crear bloques de diseños para conservarlos en caso de requerirlos en siguientes proyectos, esta opción también contiene ejemplos útiles que pueden ser adicionados en los proyectos propios que se requieran.



Herramienta **Add Part**: Permite adicionar un símbolo del conjunto de librerías dentro del área de trabajo de la hoja de esquemático.



Herramienta **Net**: Permite realizar conexiones eléctricas entre los distintos símbolos del diagrama esquemático.



Herramienta **Bus**: Crea las líneas que han de representar el bus de datos que comunica a los circuitos integrados.



Herramienta **Junction**: Permite adicionar una unión o nudo a una conexión entre dos líneas.



Herramienta **Label**: Permite visualizar a modo de etiqueta el nombre de la conexión eléctrica deseada.



Herramienta **Name**: Permite adicionar un nombre a un componente.



Herramienta **Value**: Permite adicionar el valor a un componente.



Herramienta **Reposition Attributes**: Permite ordenar o reposicionar los valores de cada componente en orden de la disposición dentro del esquemático.



Herramienta **Replace**: Permite reemplazar un componente por otro que se seleccione previamente.



Herramienta **Edit3D**: Nuevo Botón que se genera a partir de la integración Eagle AutoDesk, Permite acceder al modelo 3D para editarlo o actualizarlo.



Herramienta **Attributes**: Permite visualizar los atributos de un componentes, tales como el nombre y el valor.



Herramienta **Split**: Permite cambiar la disposición de las conexiones, seleccionando las líneas y posteriormente desplazarse en la hoja del esquemático.



Herramienta **Miter**: Permite suavizar el ángulo entre las juntas, evitando ángulos de 90° grados.



Herramienta **Paintroller**: Permite copiar las características de un componente a otro, como su ubicación y su ángulo de disposición.



Herramienta **Pattern**: Permite crear un patrón, puede ser Circular o Lineal (en el eje X y/o Y) de uno o varios componentes.



Herramienta **Pinswap**: Permite intercambiar entre pines del componente.



Herramienta **Gateswap**: Permite intercambiar la salida.



Herramienta **Optimize**: Permite optimizar el numero de pistas realizadas durante el diseño de los circuitos, mejorando el espacio y visualización del circuito.



Herramienta **Invoke**: Puede ser usado para permitir la conexión del componente activo a una fuente de tensión diferente de VCC Y GND, también permite cambiar la secuencia de designación antes de que EAGLE lo haga automáticamente.



Herramienta **Mark**: Permite definir un punto en el área de dibujo y mostrar las coordenadas del cursor del mouse relativas a ese punto en la parte superior izquierda.



Herramienta **Dimension**: Permite visualizar la dimensión de las conexiones.



Herramienta **ERC**: Electrical Rule Check. Permite verificar el cumplimiento eléctrico de los componentes y evitar posibles errores en la conexión de los mismos.



Herramienta **Errors**: Advierte sobre posible errores causados por ERC o DRC, errores en la conexión o en el diseño del circuito.



Herramienta **Generate/Switch to Board**: Como su nombre lo indica permite no sólo generar desde cero el circuito en la Board, sino también intercambiar entre ventanas mientras se trabaja en ambas, mostrando las actualizaciones que se vayan realizando entre ellas, los cambios realizados en el esquemático se visualizarán en la Board y viceversa.



Herramienta **Layer**. Permite activar/desactivar la capa deseada.



Herramienta **Execute Script (SCR)**: Permite ejecutar un script para la realización de alguna tarea a través de comandos específicos de Eagle.



Herramienta **User Language Program (ULP)**: Permite la ejecución de las distintas funcionalidades ofrecidas por Eagle para facilitar tareas largas que podrían conllevar fácilmente a errores.

4.1.2 Interfaz Board Eagle AutoDesk

Una vez se haya creado el diagrama esquemático, con sus respectivos Footprints y Symbols requeridos y ubicados dentro de una librería la cual debe ser específicamente creada para cada proyecto, lo siguiente será acceder al archivo tipo Board, el cual se mantiene bastante similar con respecto al archivo tipo board que anteriormente tenía Eagle, con la excepción de la inclusión de tres botones ubicados en el lado derecho del área de trabajo:

- El Botón “**Manufacturing**” este botón contiene la información de los componentes electrónicos que hacen parte de cada proyecto, la cual puede ser condensada a través de documentos de formato .CSV y .JSON los cuales se utilizan principalmente para transmitir datos entre una aplicación web y un servidor, para optimizar computacionalmente la lectura de la información contenida, también se puede guardar la placa en documento .DXF y .PNG. Todos estos formatos son requeridos para la manufactura de la placa.

- El botón "Fusion 360" permite una sincronización entre Fusion 360 y EAGLE mediante las funciones "Empujar a Fusion" y "Extraer de Fusion". En este proceso, se crea un archivo F3D (es decir, un archivo de Fusion 360) en el centro de Fusion Team [14].
- El botón "Fusion Team" guarda un archivo BRD (u otro archivo EAGLE) en el centro de Fusion Team en su formato original sin crear un vínculo de Fusion 360. Los miembros del proyecto pueden ver el archivo guardado en el navegador web [14], [13].

Para obtener los beneficios de estos botones, principalmente del botón "Fusion 360" se requiere tener la información de Footprints, Symbols y 3D Packages para cada componente, y de esta manera permitir la comunicación efectiva entre Eagle AutoDesk y Fusion 360, considerando que este ultimo paquete de información no hacia parte de Eagle, se explicará con mayor detalle su proceso de creación en la siguiente actividad.

Sólo en caso que se cuente con un proyecto realizado previamente bajo las versiones anteriores de Eagle, (Hasta Eagle 7.6) es posible crear en **Equipo/Documentos/Eagle/Projects**, una carpeta de proyecto que contenga las hojas de trabajo .sch, .brd y sus correspondientes librerías y a partir de esta información realizar actualizaciones, modificaciones y generación de modelos 3D, como se mostrará en las siguientes actividades.

4.2 Metodología para el modelamiento 3D, foto-realista, de PCBs creados en Eagle AutoDesk [Objetivo específico 2].

Como se mencionó anteriormente este objetivo está enfocado en definir una metodología para la generación del modelado 3D utilizando los software mencionados. Para comprender mejor la metodología se desarrolla el diagrama de flujo, ilustrado en la figura 9.

4.2.1 Generación de modelos 3D contenidos en Eagle AutoDesk

Para llevar a cabo la realización de los proyectos con Eagle AutoDesk y fusión 360 se deben seguir los pasos que se describen a continuación:

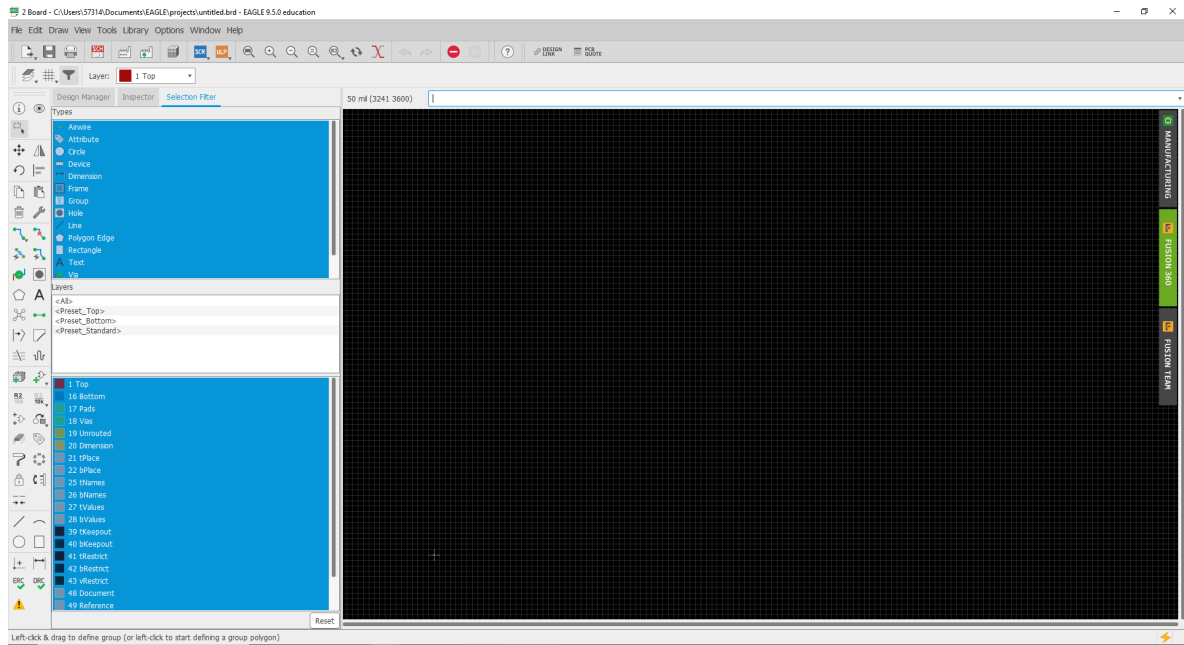


Figura 8. Interfaz y espacio de trabajo de la Board en Eagle AutoDesk.

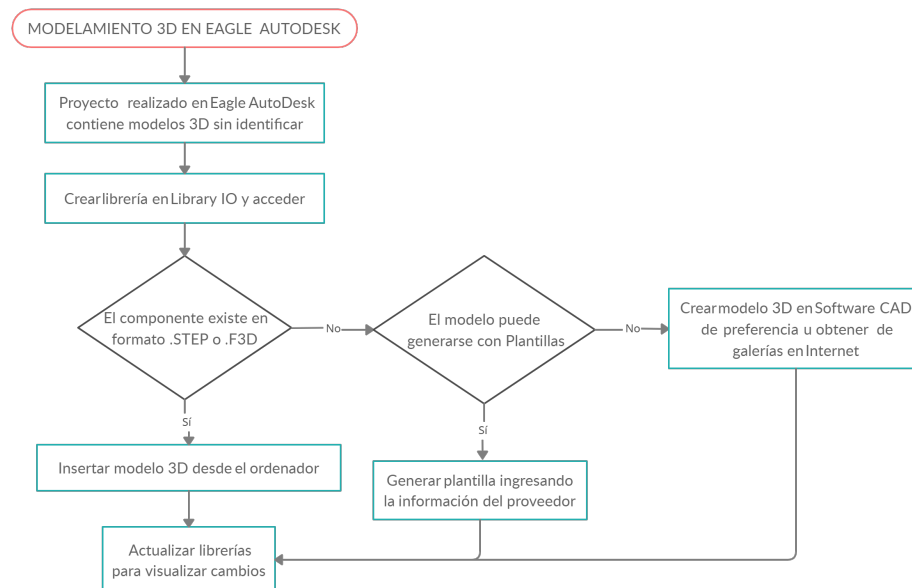



Figura 9. Diagrama de flujo para el modelado 3D de componentes electrónicos utilizando las herramientas de Eagle AutoDesk.

Se debe crear el diagrama esquemático y la board, a partir de Eagle AutoDesk y con la colaboración de Fusion 360 y Library i.o se generará el modelo CAD, más adelante se hablará de esta última herramienta; para ilustrar el proceso se partirá de un ejemplo sencillo utilizando la herramienta de diseño de bloques (), que se encuentra en la ventana del esquemático de Eagle, desde el panel de control se debe abrir un nuevo esquemático, se dará clic en la opción de diseño de bloques y se seleccionará la opción mostrada en la figura 10.

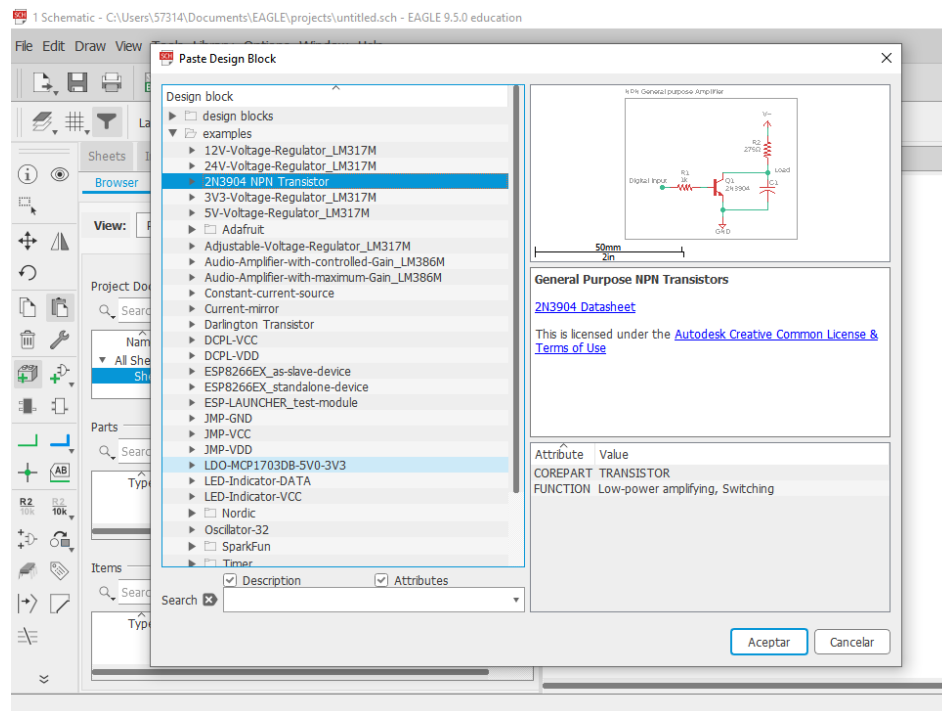



Figura 10. Generación de diseño de bloque en el diagrama esquemático.

esto creará un diagrama esquemático de un amplificador para propósitos generales, a continuación se dará clic en la herramienta Generate/switch to board () que permite crear al instante la board del circuito, al momento de dar clic se abrirá una ventana emergente consultando si desea generar la board a partir del esquemático, se da clic en aceptar y se abrirá el documento tipo board como se muestra en la figura 11.

Con los componentes ubicados fuera del área de trabajo de la board, lo anterior para evitar mezclar los componentes cuando se trabaja con demasiados elementos en una placa, después de esto sólo se requiere mover los elementos dentro de la board, seleccionando cada uno de estos

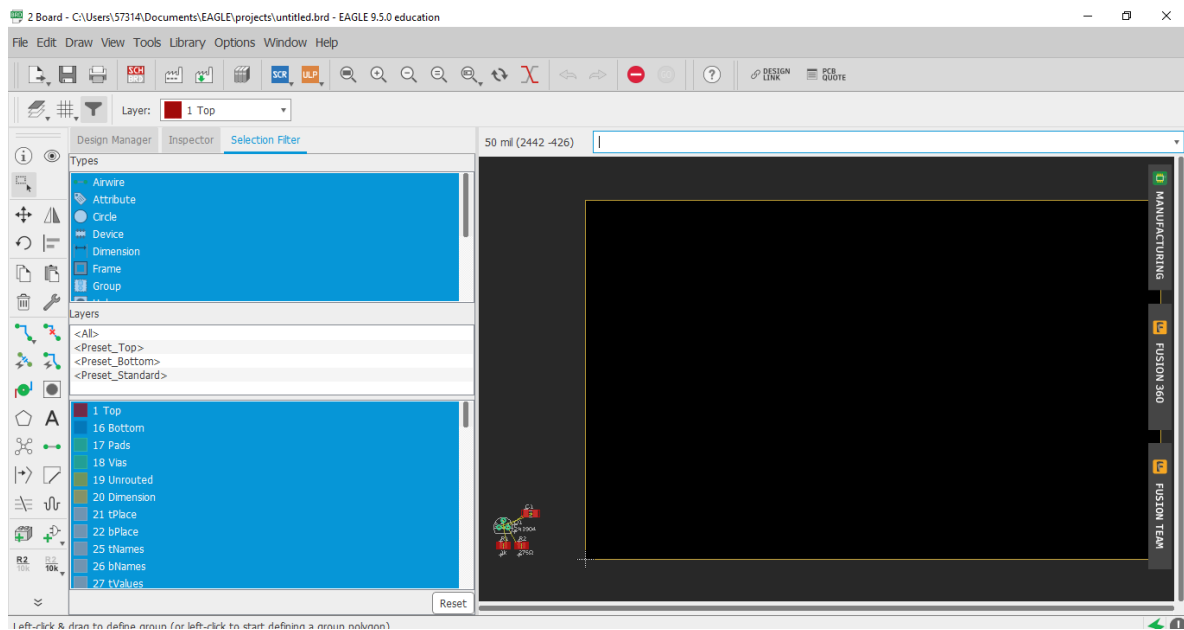



Figura 11. Generación de componentes electrónicos en el espacio de trabajo de la Board.

y arrastrando hasta la ubicación deseada, una vez se tengan ubicados se procede a realizar la unión o conexión de los mismos, se puede utilizar la opción de autorouter  para facilitar este paso, siempre verificando que la conexión se haya realizado debidamente, el resultado puede verse en la figura 12.

Adicional al circuito conectado, en la ventana de la board en el lado derecho se observan tres botones principales, el primero que se designa “Manufacturing” contiene tres pestañas, la primera “Preview”, permite visualizar el circuito ruteado y con los puntos de conexión o Footprint de cada componente, ver figura 13.

la pestaña “Board” entrega información relacionado con el área, tamaño de la board, capas, espesor, los componentes que se encuentran ubicados en cada capa, el número de contactos o pads, las perforaciones, y el ruteo con el número de señales y el ancho mínimo del trazado de cobre, ver figura 14.

El botón “Fusion 360” es el puente entre la información entregada en Eagle y Fusion 360, Al dar clic sobre este botón por primera vez se abrirá una ventana emergente la cual consulta al usuario si el diseño que se desea llevar a Fusion hará parte de un modelo existente o se creará

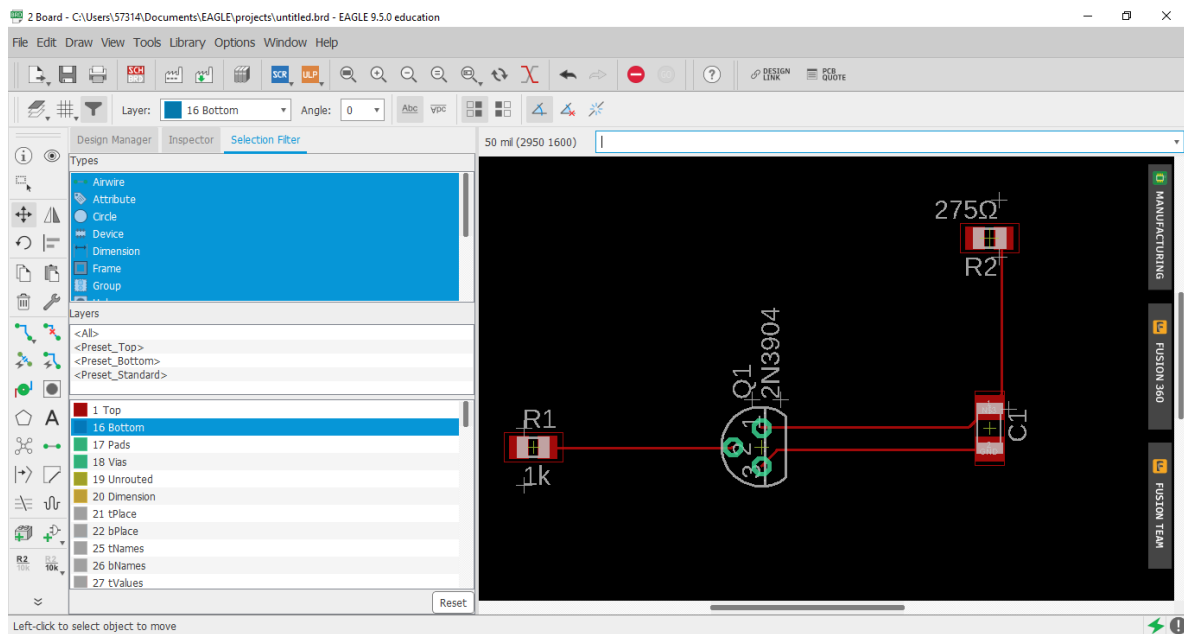


Figura 12. Diseño de bloques generado en el diagrama de circuitos.

uno nuevo, para este caso se dará clic en la segunda opción, como se muestra en la figura 15.

Al momento de renderizar el modelo 3D en Fusion, se pregunta por la disponibilidad de cada componente para la debida visualización. En caso de que un componente no tenga parte 3d, Fusion crea un encapsulado de las dimensiones necesarias para poder visualizar la placa en su totalidad (ver figura 16).

se da clic en Aceptar y una vez haya finalizado el proceso de creación del modelo aparecerá una ventana emergente indicando que el proceso fue exitoso, como se muestra en la figura 17.

esta ventana se puede cerrar, a continuación se debe abrir Fusion 360, en la página de inicio se muestra una alerta indicando que existen actualizaciones, por lo tanto, se debe dar clic en “Refresh” para actualizar el listado de modelos generados, ver figura 18 .

Al dar clic se cargarán los nuevos modelos, se selecciona el modelo correspondiente y éste a continuación se mostrará en la ventana de trabajo como se muestra en la figura 19.

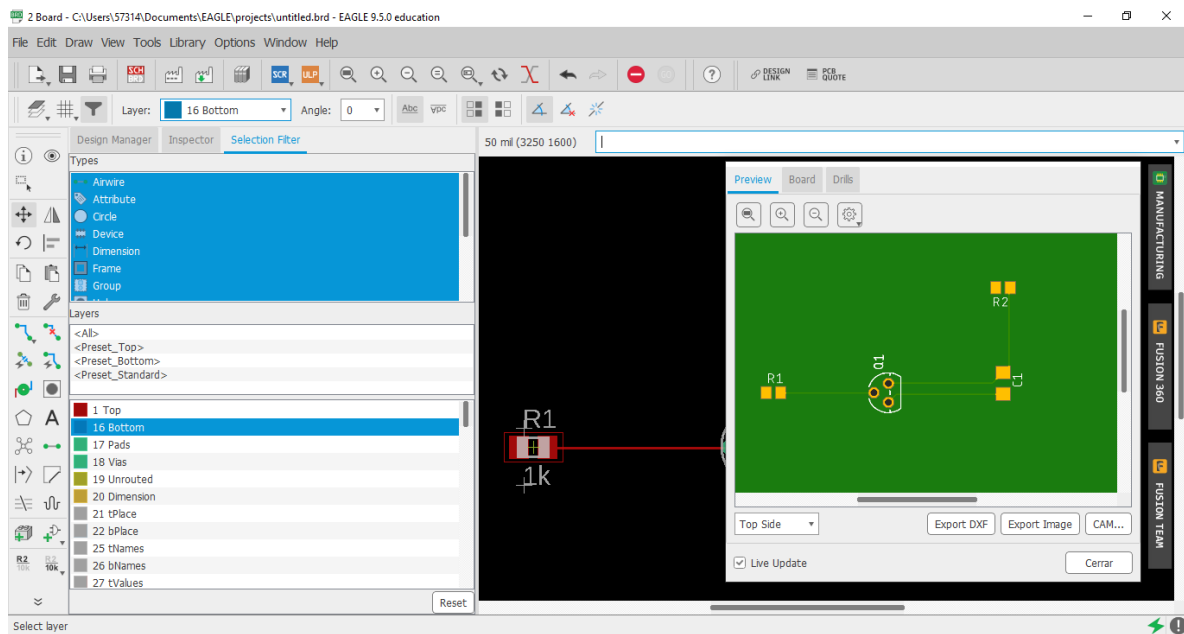


Figura 13. Previsualización de la placa mediante el uso del botón “Manufacturing”.

4.2.2 Generación de modelos 3D no contenidos en Eagle AutoDesk

Para los proyectos que requieran una variedad de componentes electrónicos que no se encuentren dentro de los modelos de Eagle, y se requiera trabajar con librerías que contienen componentes creados por el usuario se debe integrar la herramienta LIBRARY I.O, ésta es una biblioteca de contenidos en línea la cual hace parte de las herramientas creadas por AutoDesk para facilitar el acceso al modelado de componentes electrónicos creados por otros usuarios o para la creación de nuevas partes cuando así se requiera, es de anotar que sin esta herramienta no sería posible realizar el modelado 3D de los proyectos con librerías propias en Fusion 360.

Para acceder a los contenidos de la biblioteca es necesario ingresar en internet a la página “library.i.o” e iniciar sesión con los mismos datos de usuario y contraseña utilizados en la descarga de los productos de AutoDesk, la librería Online luce como se muestra en la figura 20.

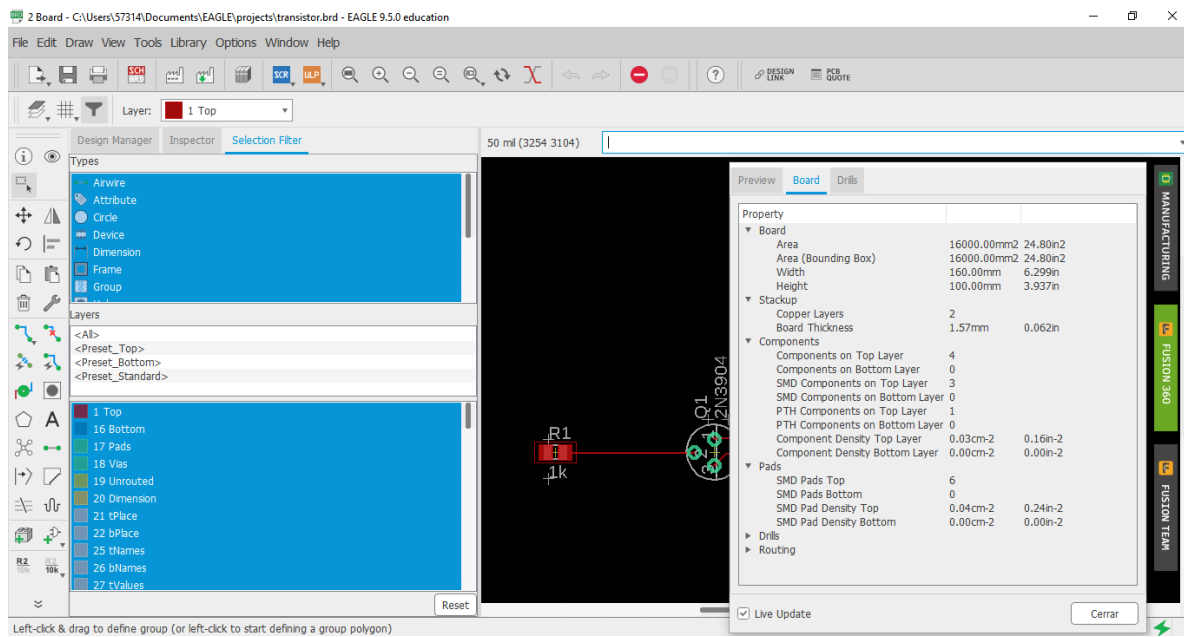


Figura 14. Información relacionada a la Manufactura de la PCB generada a partir del botón Manufacturing.

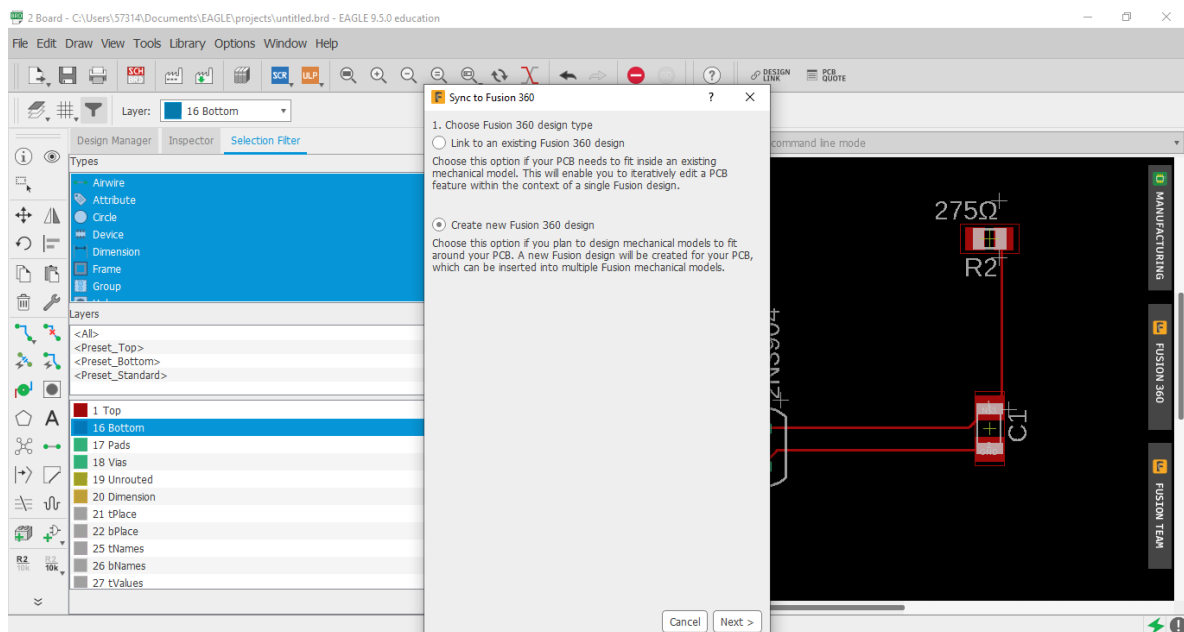


Figura 15. Confirmación de creación de diseño en Fusion 360, generado a partir del botón "Fusion 360".

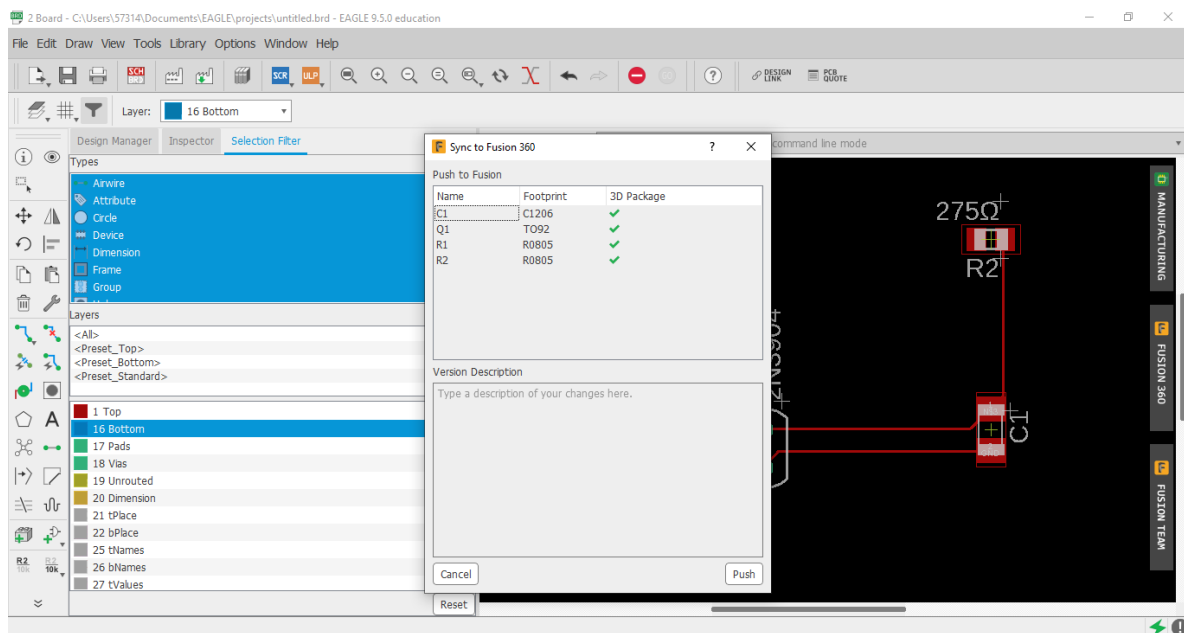


Figura 16. Verificación de componentes en 3D para generar modelo en Fusion 360.

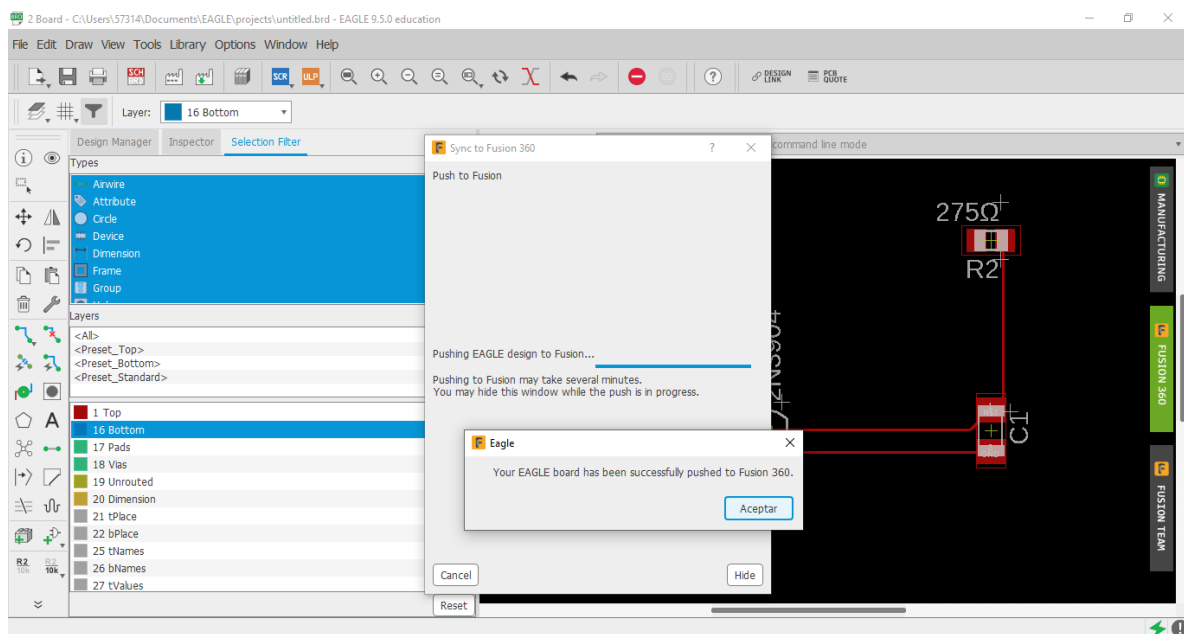


Figura 17. Importación de PCB en 2D a Fusion 360.

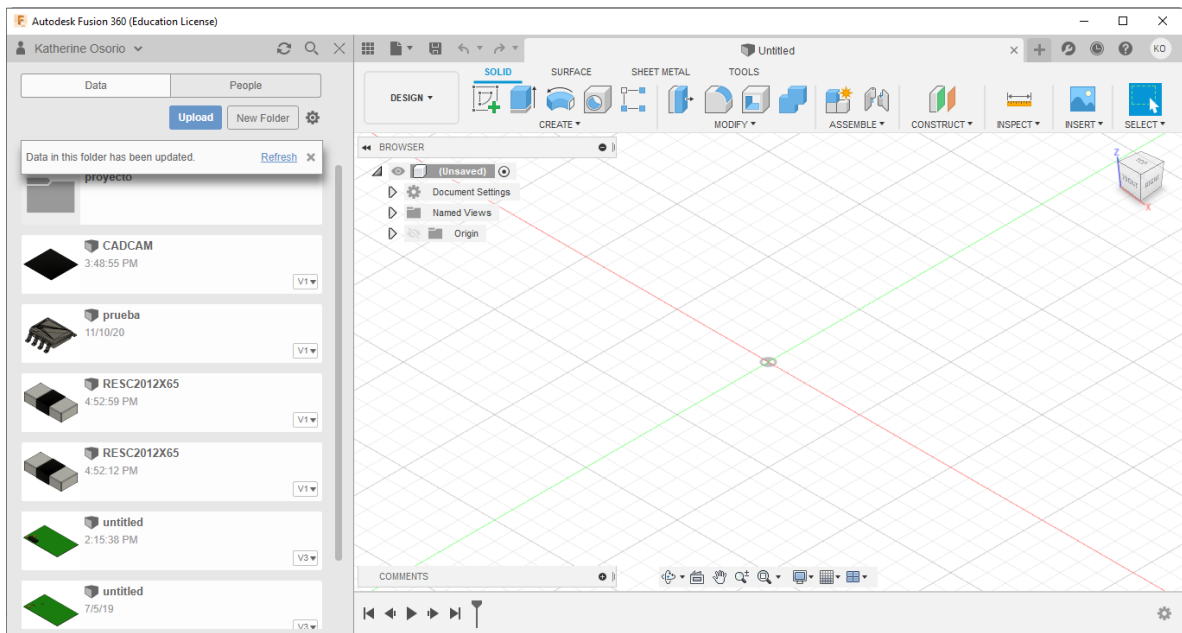


Figura 18. Espacio de trabajo de Fusion 360 y listado de modelos generados.

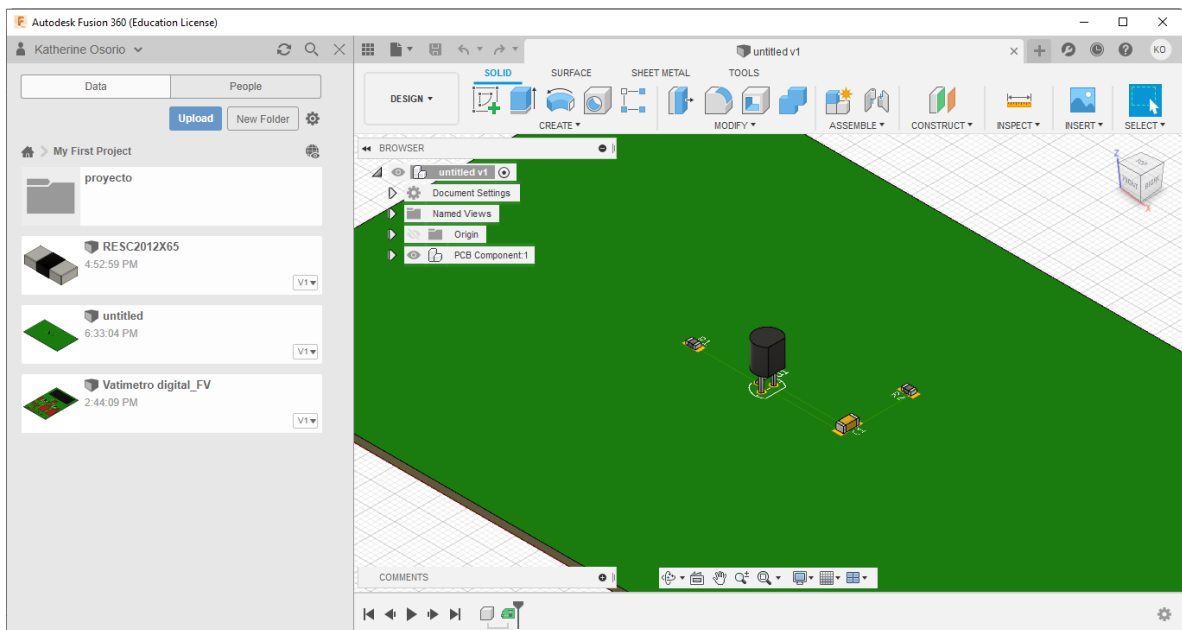



Figura 19. Modelado 3D en Fusion 360 de diagrama de bloques contenido en Eagle.



Figura 20. Página de inicio de Library i.o.

En ésta se encuentran pestañas con diferentes opciones (figura 21). la pestaña “libraries”, muestra el listado de las librerías que han sido creadas por el usuario, en la pestaña “Packages” se muestran los componentes electrónicos asociados a cada librería, en la pestaña “3D models” se encuentran los modelos en 3D que han sido creados por el usuario y en la pestaña “trash” se encuentran los modelos que han sido eliminados.

A continuación se muestra el paso a paso para generar una pieza o modelo 3D a partir del Library i.o:

Lo primero es tener la librería que requiere el modelado 3D de los componentes dentro del listado de librerías de Eagle, existen diferentes formas de incluirlas, la primera es, una vez se tenga creada la librería, se puede ingresar directamente en la carpeta de librerías de Eagle, ubicada en la dirección para Windows10 en “C:\EAGLE 9.5.0\lbr”, lo siguiente será abrir un diagrama esquemático y seleccionar en el menú la opciones **Library/Open Managed library**, esto abrirá una ventana emergente, en la pestaña “In Use” dar clic en la opción “Browse” para ubicar la librería donde se guardó anteriormente, se selecciona la librería que se requiere adicionar y se da clic en Abrir. los pasos mencionados anteriormente se ilustran en la figura 22, en este punto se puede observar a través de la opción “add Part”  el listado de librerías,

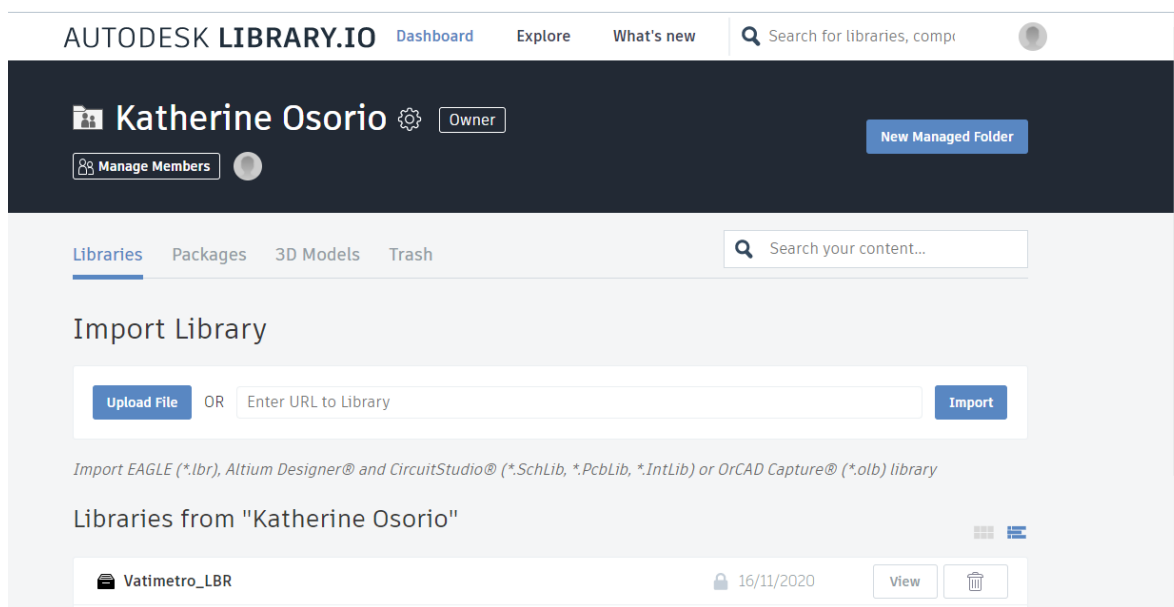


Figura 21. Menú de opciones de Libray i.o.

donde se observa que ya quedó adicionada la librería dentro de Eagle habilitada para su uso, ver figura 23, sin embargo, ésta aún no contiene la información relacionada con los modelos 3D.

Para adicionar los modelos 3D a la librería, se debe ingresar nuevamente en las opciones Library/Open Managed library y en la pestaña “In Use” seleccionar la librería y seguido de esto la opción Edit, los pasos indicados anteriormente se ilustran en la figura 24.

En este punto se abrirá la ventana que se muestra en la figura 25, la cual contiene 4 columnas que indican el nombre del componente o “Device,” footprint”, “3D package” y “Symbol”, la columna “3D packages” se muestra en blanco, lo cual indica que aún no se encuentran creados los bloques o empaquetamientos en 3D, para crearlos es necesario desde la librería, dar clic en la opción Library/Create Managed library, esto activará una ventana emergente indicando a donde se moverá la librería, es importante tener presente el sitio en donde se generará en caso de requerirse, lo siguiente será dar clic en Crear como se muestra en la figura 26.

Aparecerá una ventana indicando el proceso de carga y seguido de esto se informará la creación de la carpeta, dar clic en Aceptar, lo descrito anteriormente se puede observar en la figura 27.

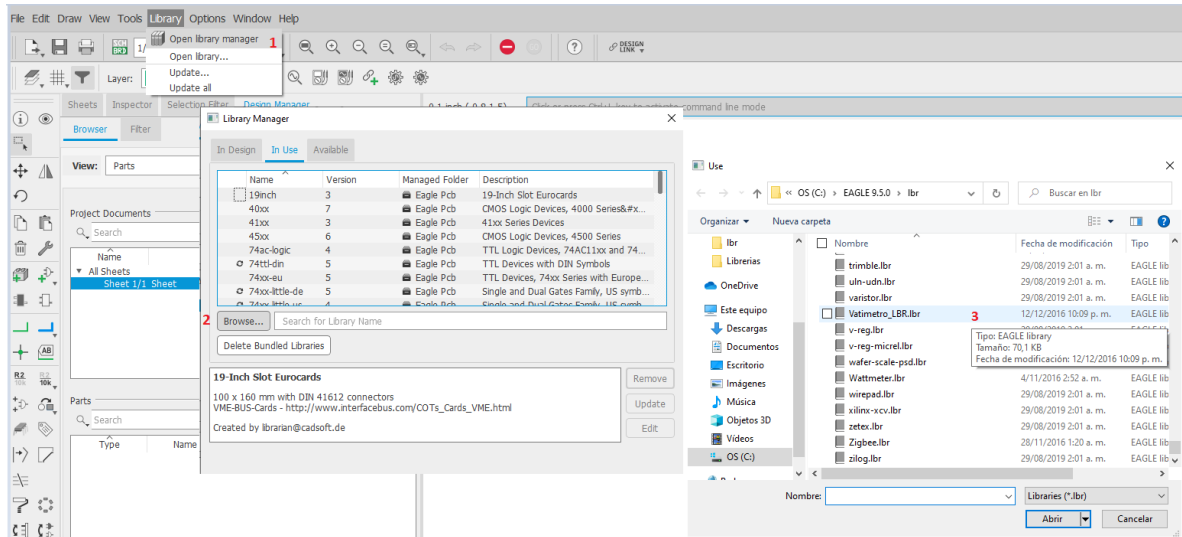


Figura 22. Importación de librerías en Eagle.

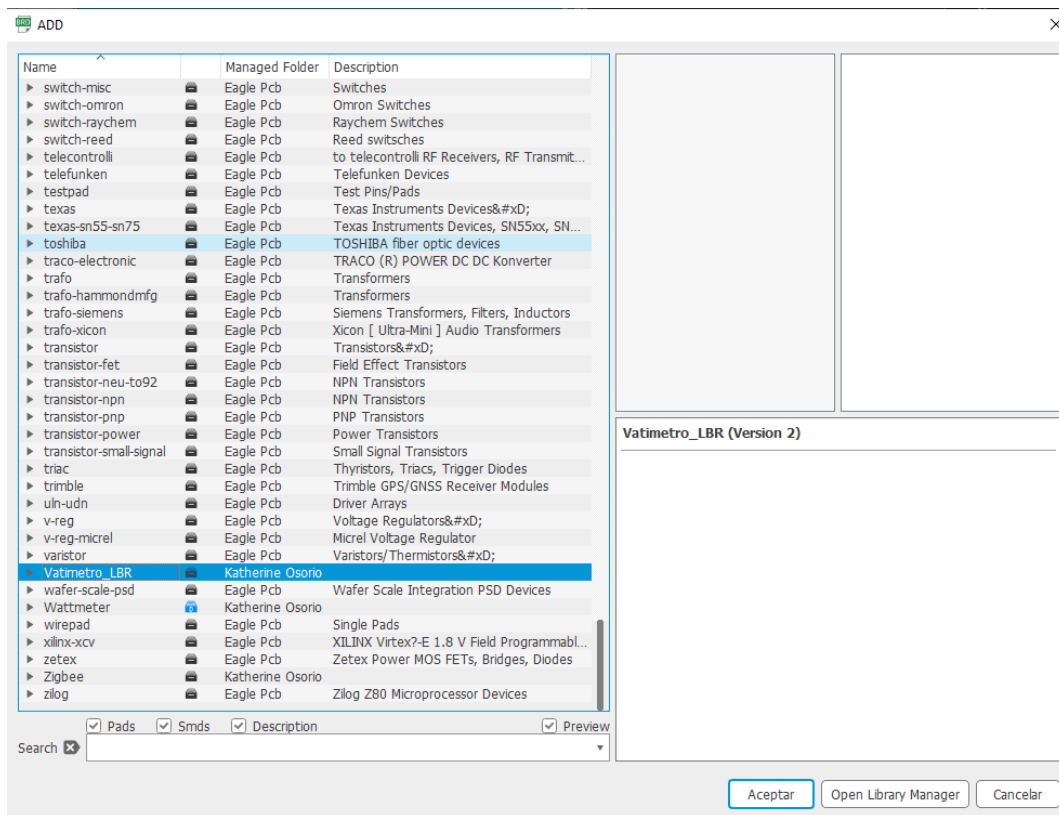


Figura 23. Inclusión de librerías en Eagle.

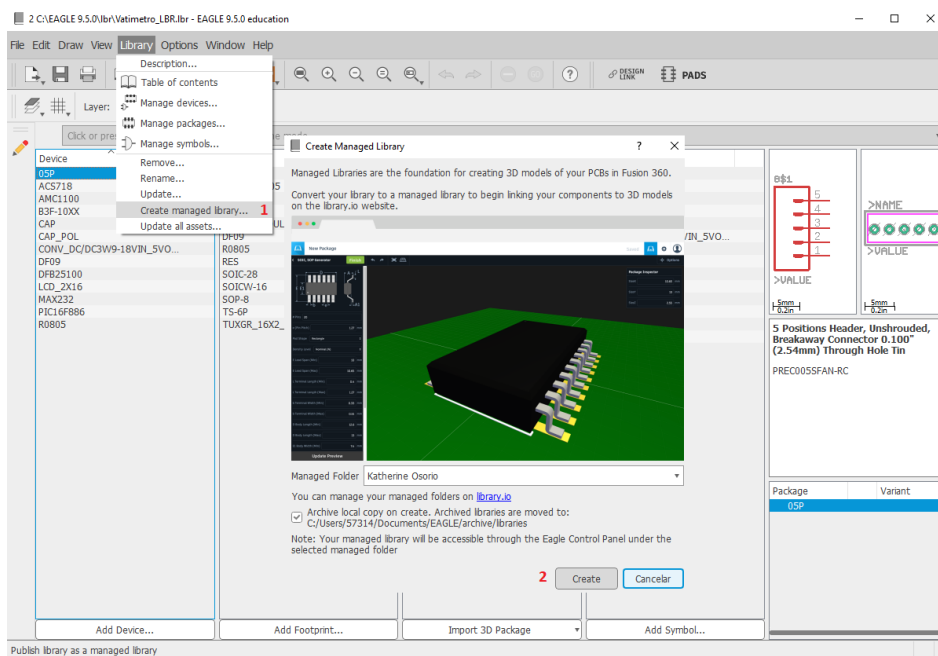


Figura 26. Creación del Manged Library.

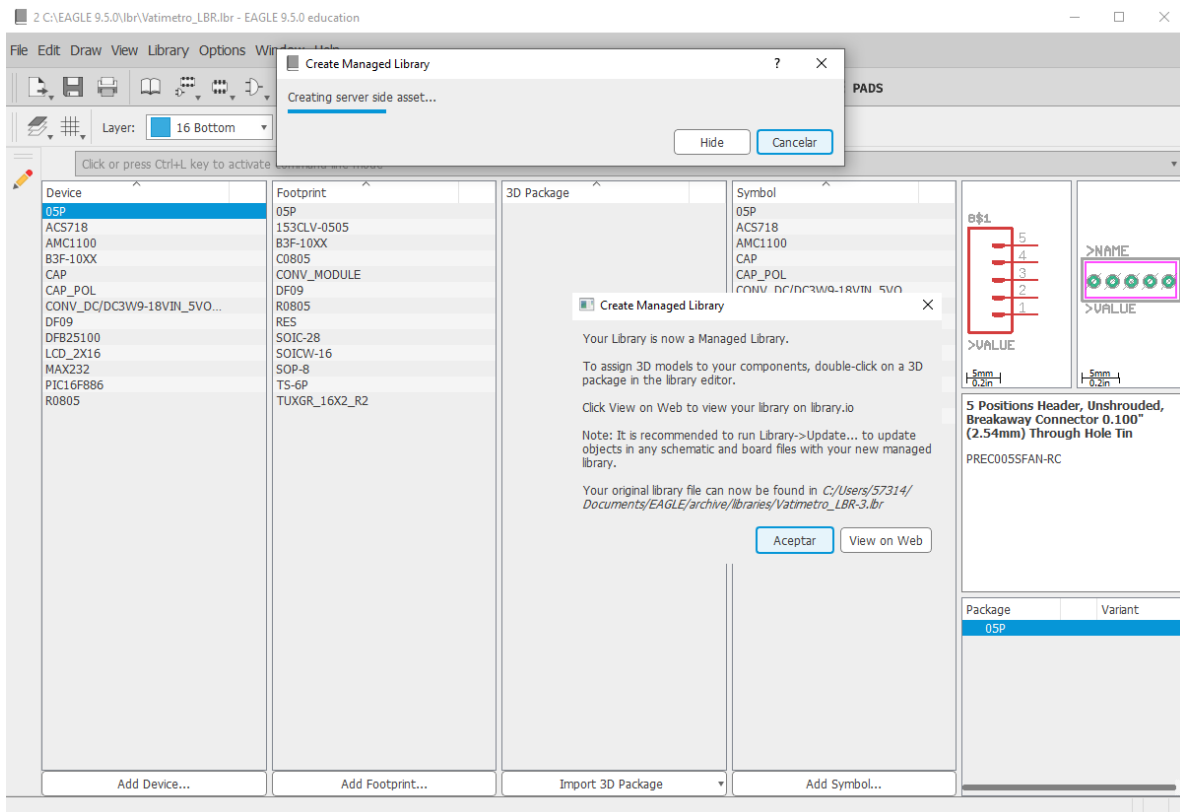


Figura 27. Generación del Managed Library en Eagle.

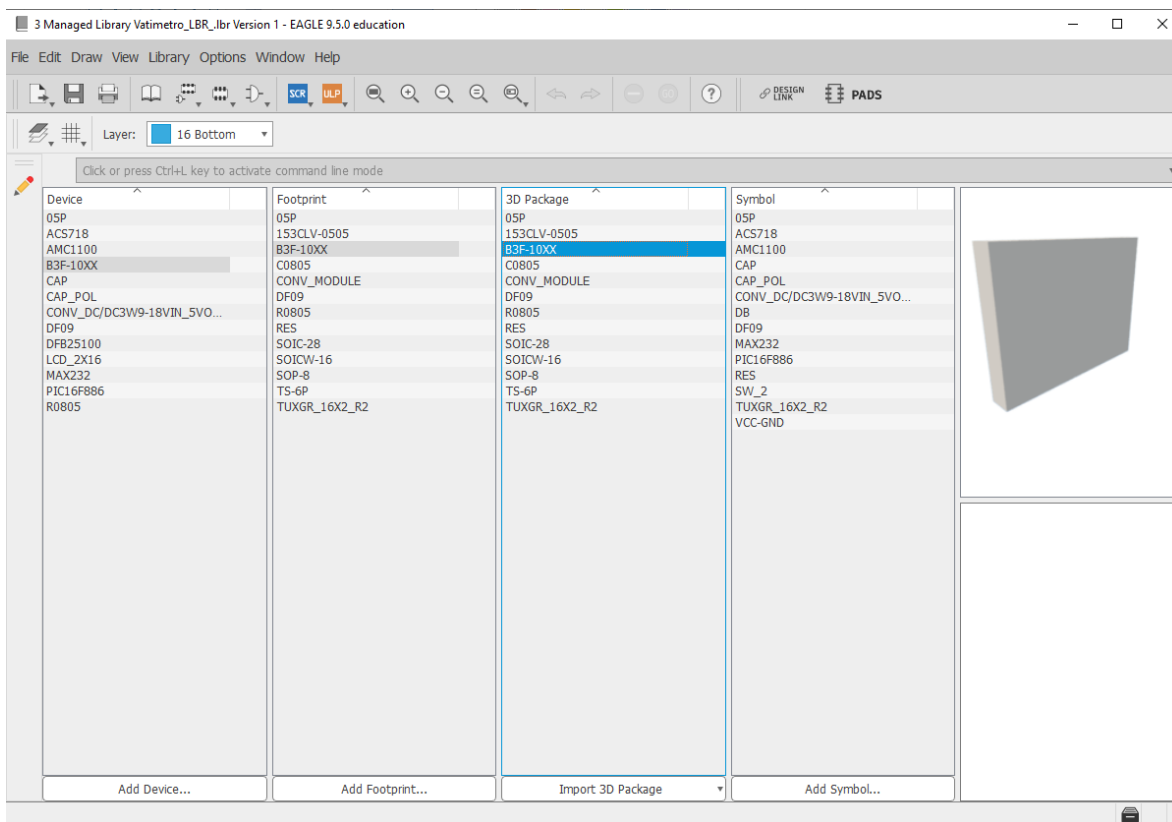


Figura 28. Generación de encapsulados 3D en el Managed Library.

A continuación, en la librería, se muestra la columna de modelos 3D con una listado de encapsulados que contienen las dimensiones asociadas a cada componente, ver figura 28.

Lo siguiente será acceder al Library i.o, donde debemos refrescar la página para observar los cambios realizados, al hacerlo se observará el listado de librerías que se han creado, ver figura 29.

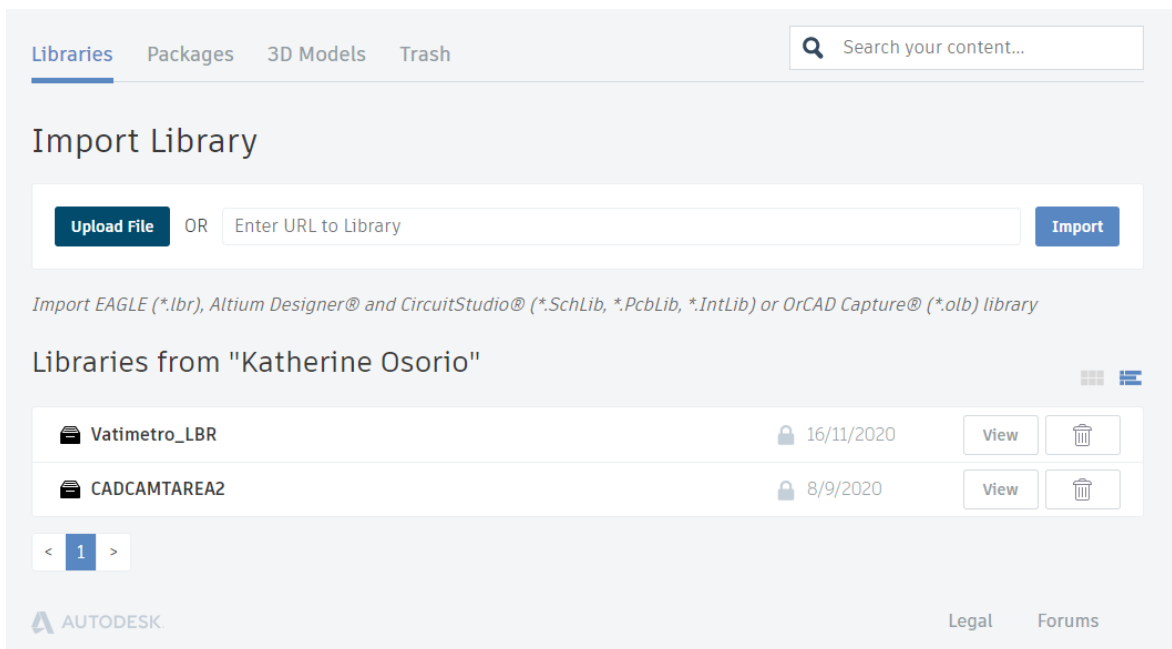



Figura 29. Generación de Librerías en Library i.o.

Al dar clic en cada librería se mostrará la información resumida de su contenido como los componentes, los símbolos, los paquetes o modelos 3D y los footprints, ver figura 30. Observar que en la sección Packages” algunos componentes muestran la imagen  ésta indica que actualmente el modelo no se encuentra generado, a medida que se van creando los modelos 3D desaparecerá esta alerta en cada modelo.

De vuelta en la página principal del Library io, se debe ingresar en la pestaña Packages la cual muestra individualmente cada componente y es desde donde se podrán realizar las actualizaciones o modificaciones en 3D a cada componente, al seleccionar un componente se abrirá una ventana que muestra el encapsulado ubicado sobre los pads como se muestra en la figura 31, al seleccionar la opción Edit, se genera otra ventana, en la cual se muestran diferentes opciones, ver figura 32.

La opción “Upload” permite cargar diseños en formato .step o f3d desde el ordenador, la opción “**Generate**” despliega plantillas con los componentes electrónicos más utilizados, una vez seleccionado el tipo de componente a generar, sólo se requiere ingresar los datos solicitados como se muestra en la figura 34, los cuales pueden ser obtenidos a partir de la hoja de datos

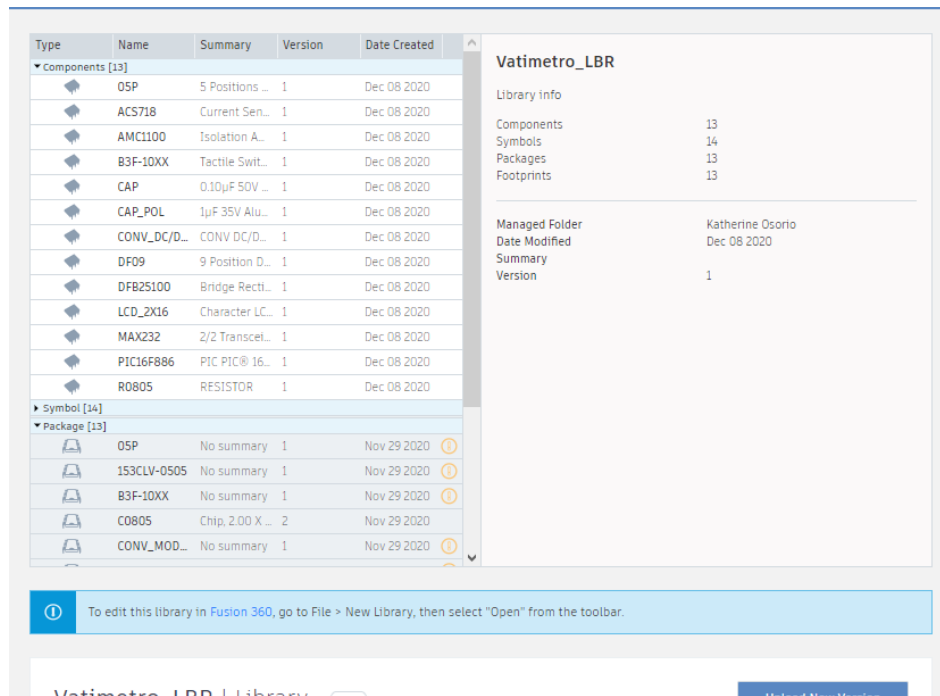


Figura 30. Ventana con información asociada a la librería.

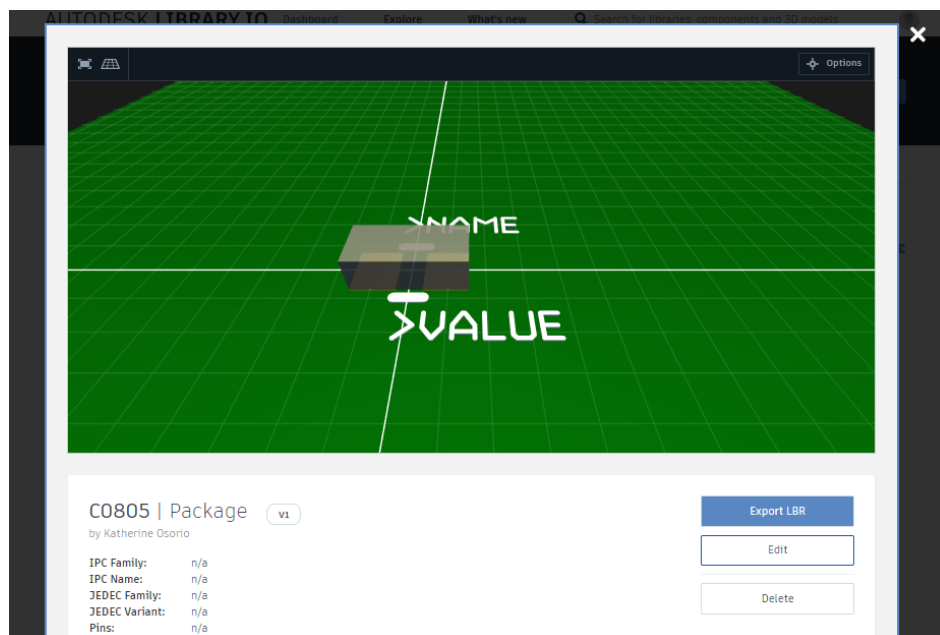


Figura 31. Creación de modelos 3D a partir del uso del Library i.o.

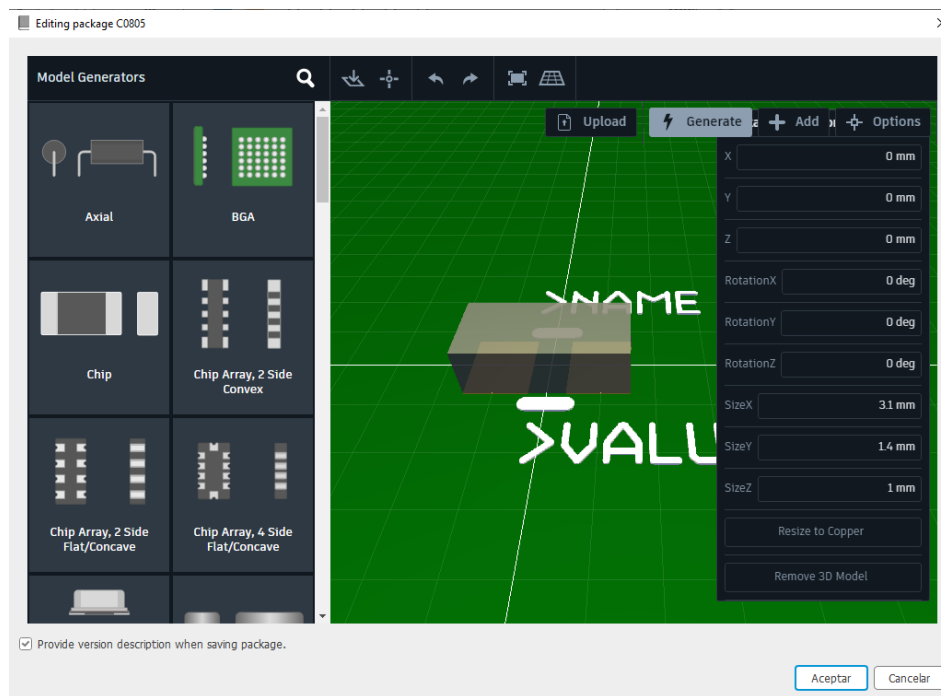


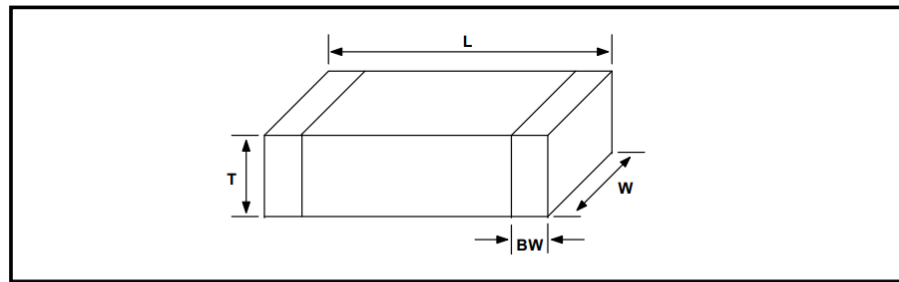
Figura 32. Creación de modelos 3D mediante el uso del botónGenerate.

que usualmente se encuentra en la página del proveedor como se muestra en la figura 33.

Finalmente, una vez ingresados los datos se debe dar clic en el botón “**update Preview**” para generar el modelo, en ocasiones puede quedar desplazado con respecto a los pads, sin embargo, se puede mover haciendo uso de las coordenadas y ángulos de rotación respecto a los ejes X,Y, Z.

A continuación se muestra otro ejemplo, esta vez para un componente electrónico tipo SOP, desde el library i.o en la pestaña Packages, se ubica y selecciona el componente, ver figura 35 y seleccionar la opción edit como se muestra en la figura 36 y seguido de esto la opción “Generate”, en el menú de opciones de las plantillas se selecciona la opción resaltada en la figura 37.

Con la información entregada por el proveedor, ver figura 38 sólo se requiere ingresar los datos correspondientes de acuerdo con las cotas informadas en la plantilla, como se muestra en la figura 39 y una vez hecho esto, se debe dar clic en el botón “Update Preview” y esperar que cargue, los resultados se pueden observar en la figura 40.



CODE	EIA CODE	DIMENSION (mm)			
		L	W	T (MAX)	BW
03	0201	0.6 ± 0.03	0.3 ± 0.03	0.33	0.15 ± 0.05
05	0402	1.0 ± 0.05	0.5 ± 0.05	0.55	0.2 +0.15/-0.1
10	0603	1.6 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.9	0.3 ± 0.2
21	0805	2.0 ± 0.1	1.25 ± 0.1	1.35	0.5 +0.2/-0.3

Figura 33. Datasheet del proveedor. Tomada de Digikey [1].

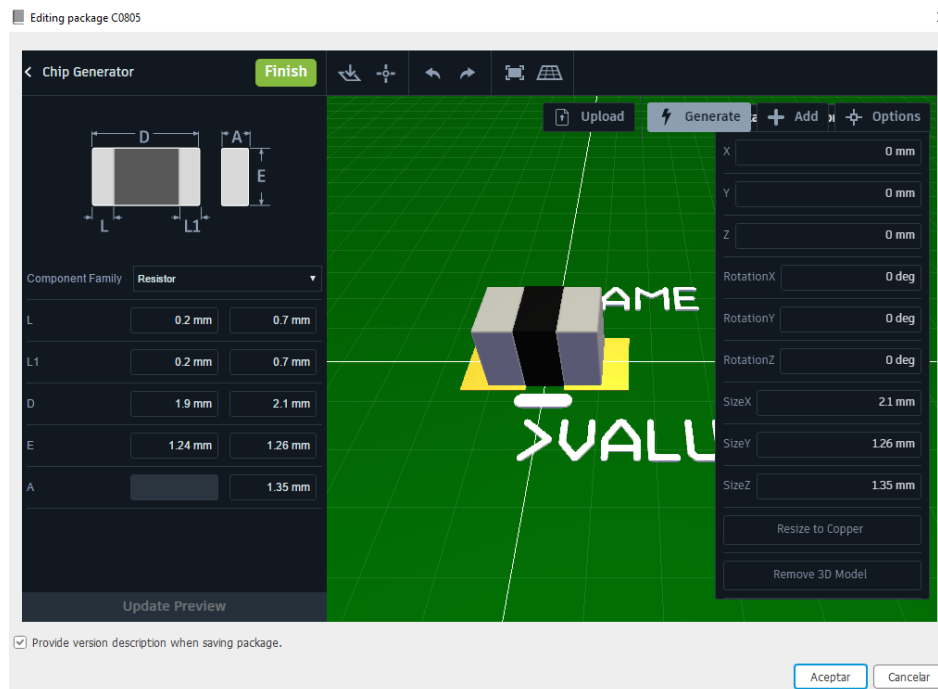


Figura 34. Datos requeridos para la generación de modelos 3D en library i.o mediante el uso del botón Generate.

2D 3D	TS-6P	29/11/2020	Export	
2D 3D	SOP-8	29/11/2020	Export	
2D 3D	SOICW-16	29/11/2020	Export	

Figura 35. Listado de accesorios en Library i.o.



Figura 36. Edición de componentes en Library i.o.

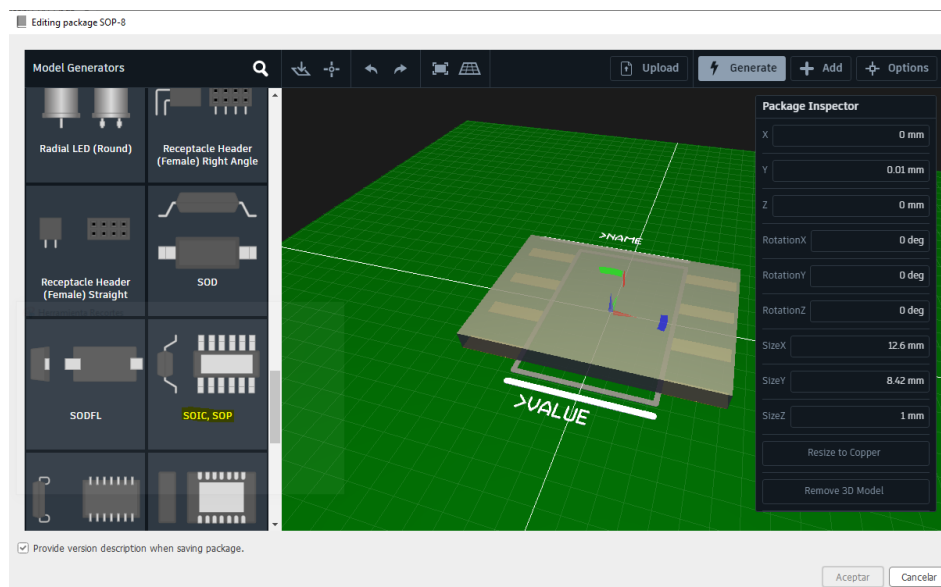


Figura 37. Modelado de componente tipo SOP a través de la opción Generate del Library i.o.

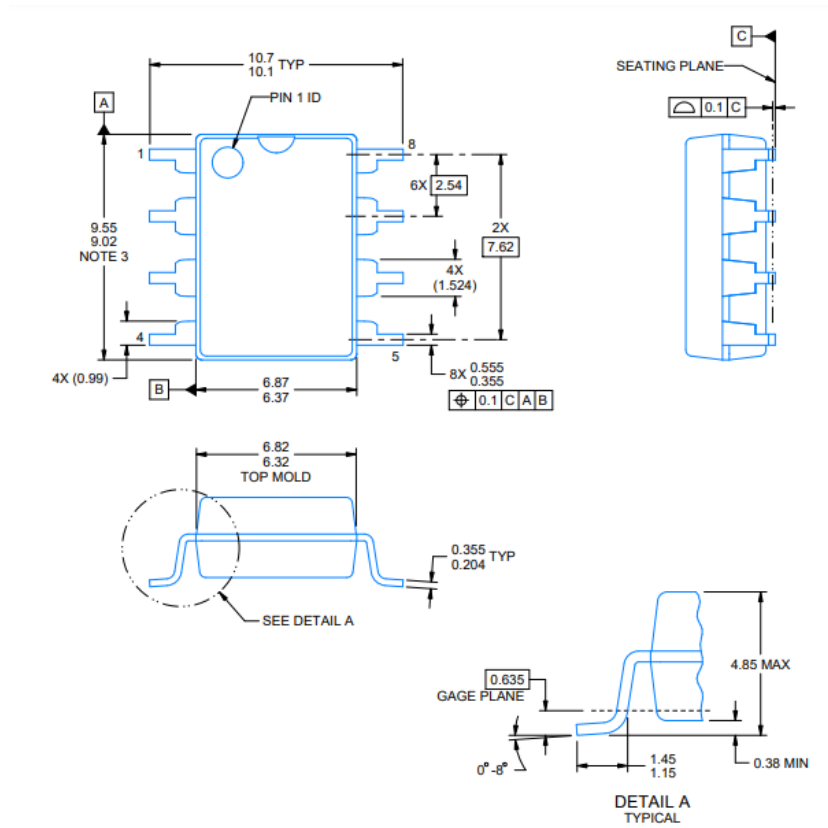


Figura 38. DataSheet del proveedor para componente 8-SOP. Tomada de Digikey [2].

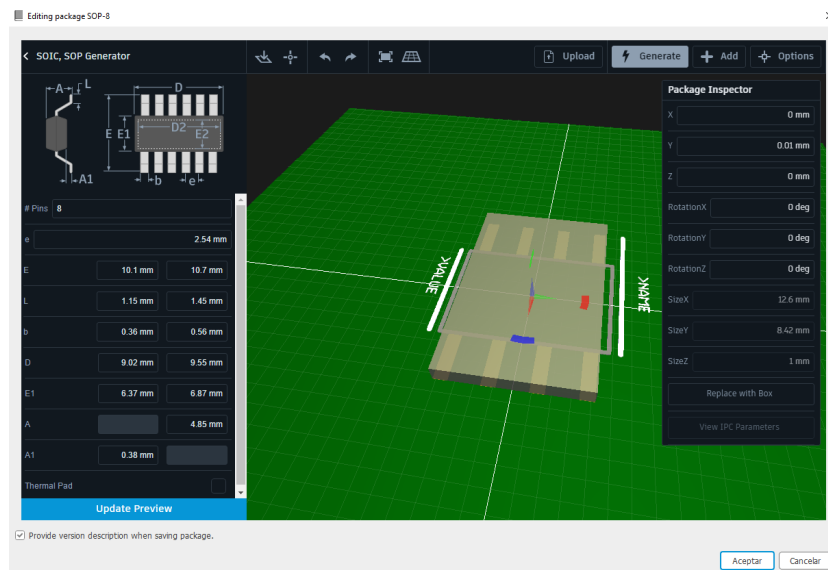


Figura 39. visualización de área de trabajo de plantillas en el Library i.o.

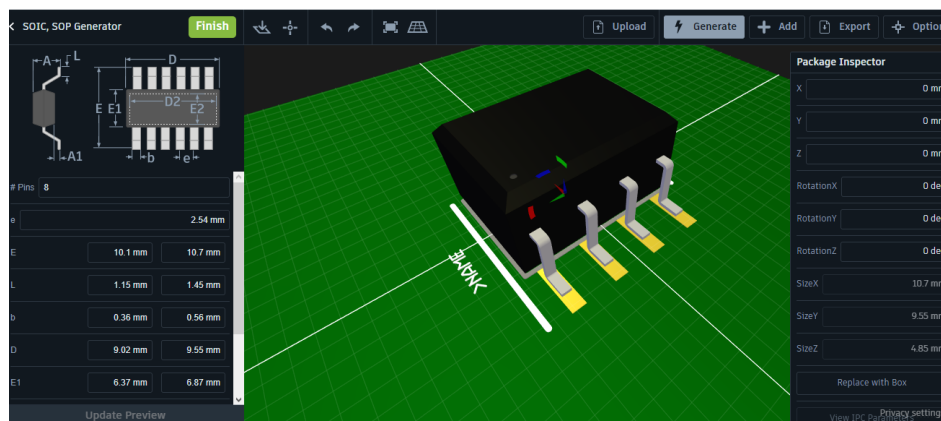


Figura 40. Modelo 8-SOP generado a partir de plantilla en Library IO.

Una vez que se han actualizado los modelos, se debe ir a la librería asociada, en la cual se mostrará un mensaje indicando que actualmente la librería se encuentra desactualizada, ver figura 41 en la columna “Device” se señalan en Negrilla y con un asterisco al final, los modelos que han tenido cambios de versión y requieren actualizarse, para hacerlo se debe seleccionar la opción “Library/Create new version” esto generará una ventana emergente la cual informa que todos los modelos contenidos en la web serán cargados nuevamente, ver figura 42 al dar clic en **Aceptar** se ejecutarán las actualizaciones y estas podrán visualizarse al exportar la placa a Fusion 360, más adelante se ilustrará los resultados finales del ejemplo expuesto en este capítulo.

4.3 Análisis de las implicaciones de la transición de Eagle a AutoDesk [Objetivo específico 3].

Considerando que Eagle es un programa altamente utilizado y que actualmente cuenta con una licencia gratuita bajo una versión limitada, lo más probable será que al día de hoy los usuarios que han venido utilizando la herramienta antes de su integración con AutoDesk quieran aprovechar y descubrir los beneficios y utilidades que esta unificación pueda traer y realizar actualizaciones y modificaciones a los proyectos que hayan realizado previo a la integración, es por esta razón principalmente que esta sección se enfocará en explicar e ilustrar la metodología para llevar el proyecto 2D realizado en el esquemático y la board de Eagle a el

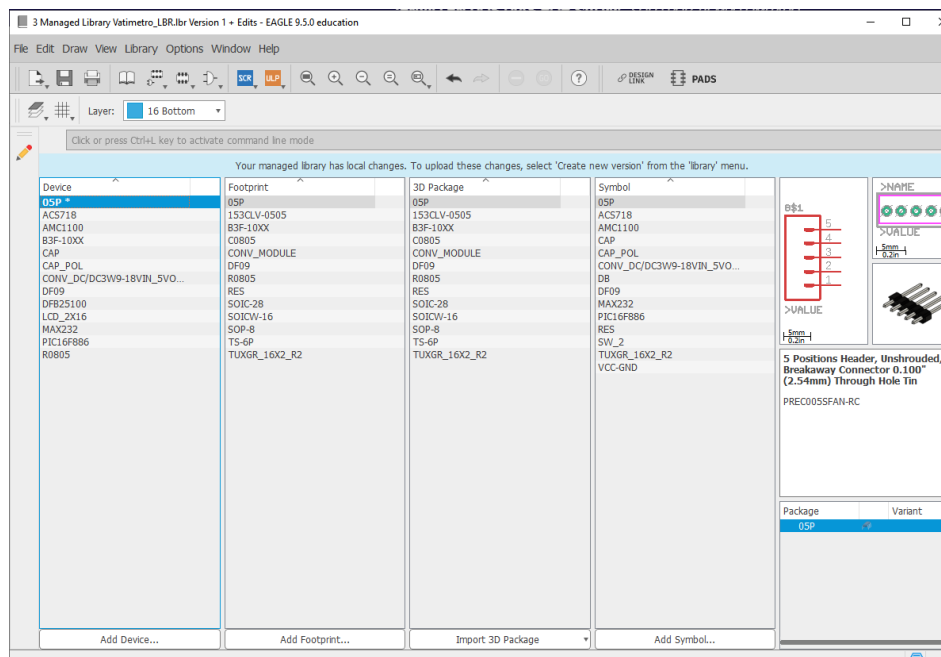


Figura 41. Solicitud para la creación de la nueva versión de la librería.

modelamiento 3D con Fusion 360.

Una vez se tengan el diagrama esquemático, la board y sus correspondientes librerías asociadas, se debe crear una carpeta con estos documentos en la dirección donde Eagle guarda por defecto los proyectos, esto es en Windows10: `Este equipo/documentos/eagle/project/''nombre del proyecto''`. Ver figura 43, [13].

Al realizar esta acción, en el panel de control de Eagle aparecerá el proyecto como se muestra en la figura 44.

Uno de los principales cambios que se produjeron bajo la nueva modalidad de Eagle se encuentra en el manejo de las librerías, en la imagen anterior se muestran las librerías con un punto gris al frente de su nombre, esto indica que actualmente no se encuentran activas, es decir que los proyectos asociados a estas librerías no se están ejecutando. en caso que se requiera activar sólo es necesario oprimir el punto gris, el cual cambiará a color verde, confirmando que ahora se encuentra activa.

Como se ha indicado anteriormente todos los proyectos tienen librerías asociadas, cuando éstas no se encuentran cargadas en la carpeta de librerías de Eagle, como sucede cuando el proyecto

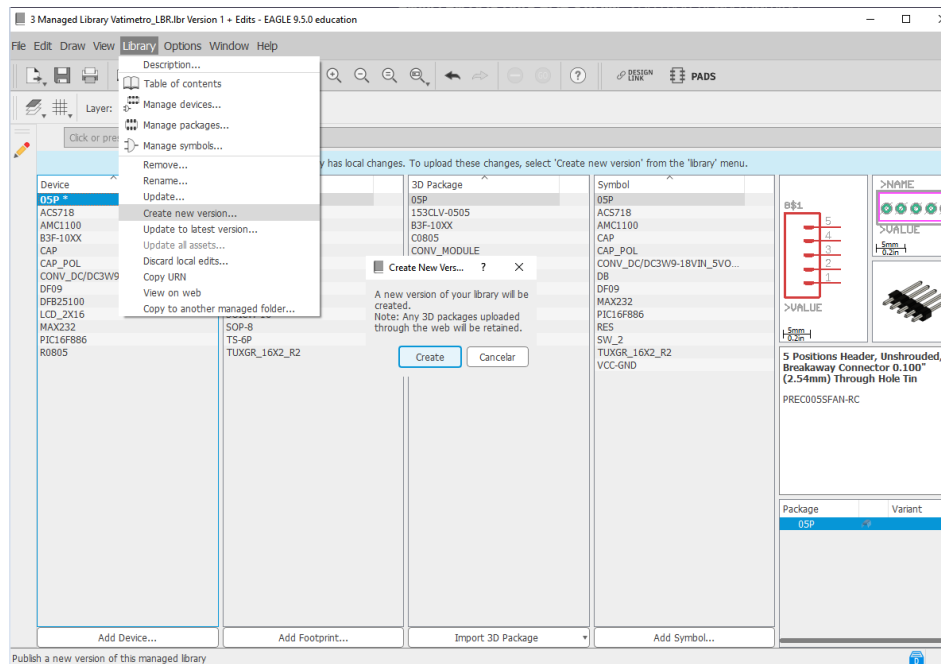


Figura 42. Procedimiento para actualizar los modelos contenidos en las librerías dentro de Eagle.

de Eagle pertenece a las versiones anteriores a la integración con AutoDesk, se debe ingresar al esquemático o board del proyecto y en las opciones **Library/OpenManaged Library**, en la pestaña “In Use” se mostrará una alerta en la librería que no se encuentra, también de esta manera podemos observar que librerías tiene asociadas el proyecto, ver imagen de la figura.45, para solucionarlo, sólo se requiere adicionar la librería en la carpeta de librería de Eagle ubicada en “C:\EAGLE 9.5.0\lbr”, y cargarla en el Library io, siguiendo los pasos indicados en la actividad 2.

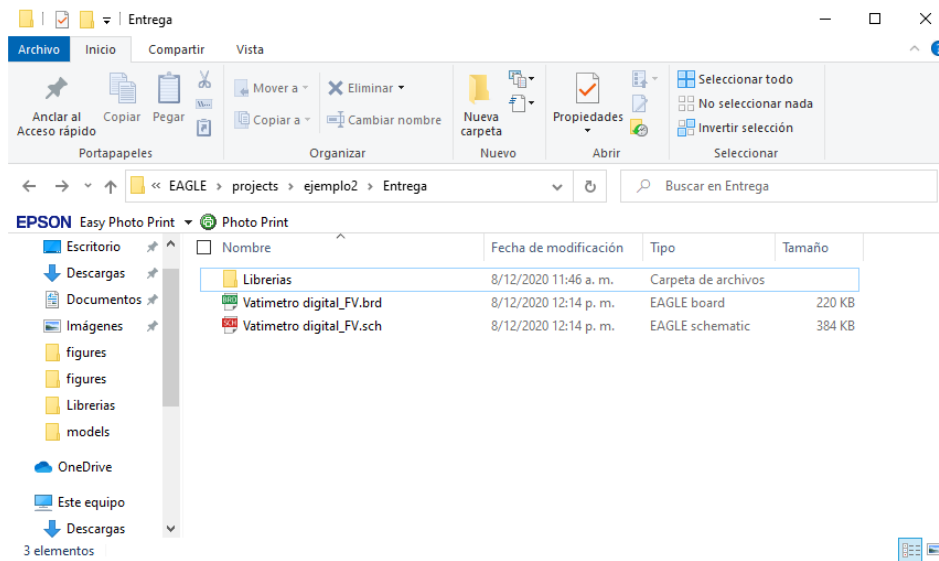


Figura 43. Ubicación de los proyectos en Eagle.

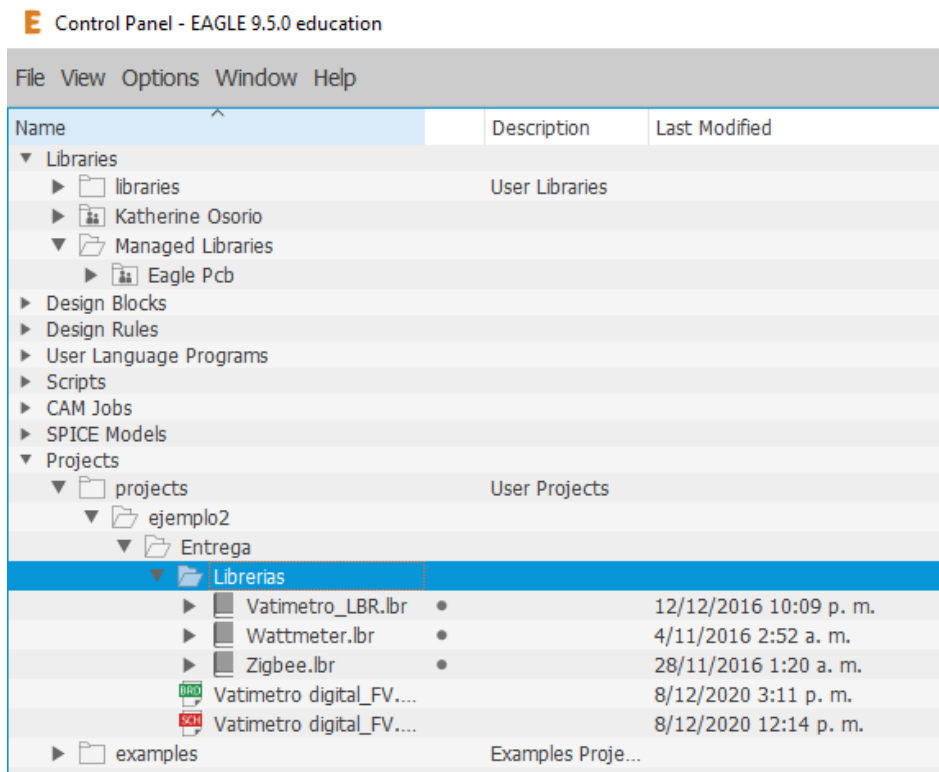


Figura 44. Visualización del proyecto en el panel de control de Eagle AutoDesk.

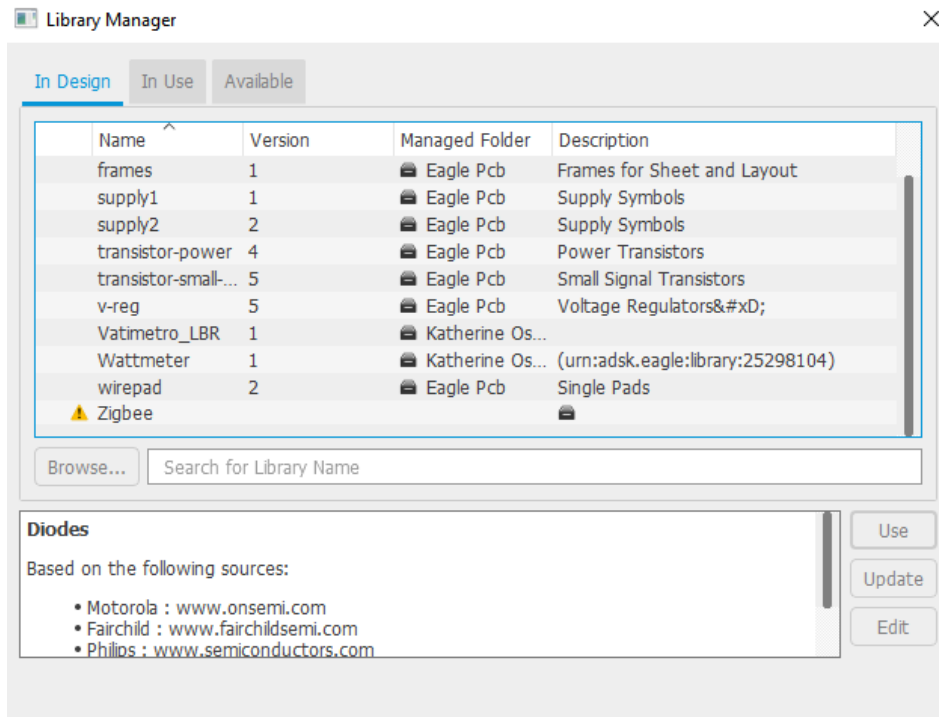


Figura 45. Alerta sobre librería que no se encuentran incluidas en Eagle y que se requieren para trabajar el proyecto.

Una vez realizado lo indicado anteriormente, se puede verificar nuevamente dentro del archivo del esquemático o de la board, por medio de la opción **Library/Open library manager**, pestaña “In Use” si persiste la alerta, ver figura 46.

4.3.1 Análisis comparativo entre AutoDesk Eagle y Altium Designer

A continuación se nombrarán algunas de las diferencias entre Altium Designer y AutoDesk Eagle con relación a los costos de los planes, las mejores características, pros y contras de cada aplicación así como una conclusión que facilitará la elección de la mejor opción de software, según el caso:

- Altium entrega filtros avanzados para simplificar y modificar la selección del usuario, esto ayuda a los diseñadores a seleccionar opciones de edición de una manera más intuitiva, los nombres de cada red se pueden visualizar en el diagrama esquemático.

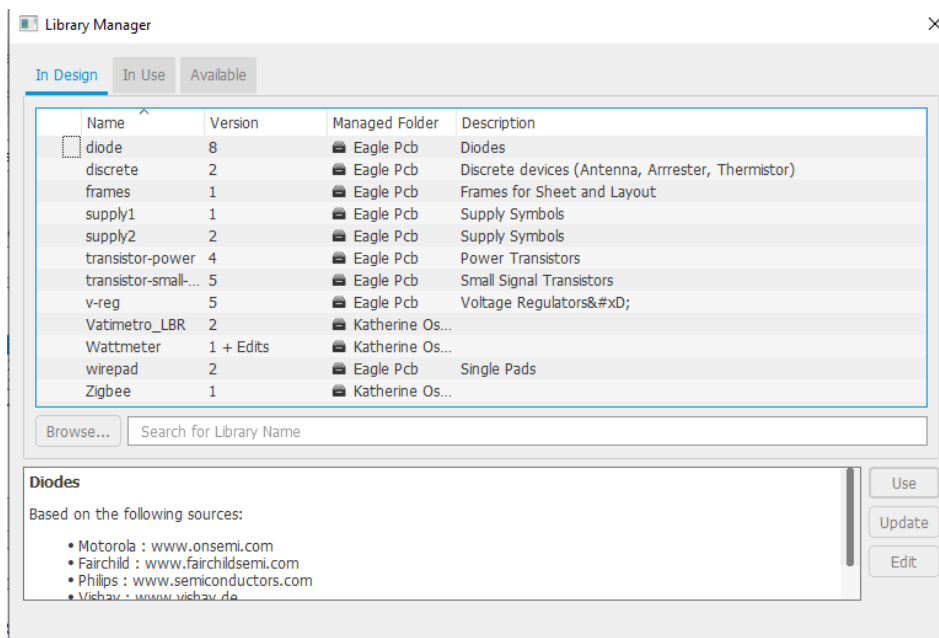


Figura 46. Librerías incluidas por defecto en el diseño.

- Eagle Ofrece a opción “Backward/forward” entre la PCB y el esquemático, los diseñadores no requieren editar y marcar en ambos lugares manualmente, esta es una característica que optimiza enormemente el tiempo.
- Ambas herramientas son sencillas de utilizar, sin embargo Altium presenta mejores características para el aprendizaje en el uso de sus herramientas al ser más intuitiva.
- Eagle esta basado en suscripciones periódicas, es decir que se deben renovar una vez el tiempo de vigencia de la misma haya caducado, por otro lado Altium ofrece licencias perpetuas que no requieren renovarse a excepción que estas requieran actualizaciones.
- Eagle tiene mejores y más poderosas herramientas de simulación comparado con Altium, estas simulaciones se pueden procesar más rápido y con mayor exactitud, sin embargo Altium también posee capacidades de simulación adecuadas a su propósito.
- Altium entrega detalles de producción en tiempo real mediante el “ActiveBOM”, si la producción es el enfoque para el diseñador, Altium se encargará de brindar la información actualizada de costos y disponibilidad de cada componente electrónico, incluso informar

sobre alternativas encaso que no se ajustes a los tiempos y costos. Eagle también posee una herramienta similar pero no con el mismo nivel de funcionalidad.

- Los precios de suscripción son los que presenta una mayor diferencia, como se informó anteriormente, Eagle requiere realizar suscripciones programadas, éstas tienen un costo mucho menor que Altium, sin embargo al considerar que este último trabaja mediante licencias perpetuas, la diferencia entre el costo en el tiempo puede ser considerable [15].

4.3.2 Precios de suscripción:

En un análisis rápido consultado a diciembre de 2020, se puede observar que:

Altium Design 20

- Altium Designer ofrece una suscripción gratuita por 15 días, de la licencia con todas las características, una vez el usuario ha completado su registro
 - Para los estudiantes se ofrece una licencia gratuita con una vigencia de 6 meses.
 - Los planes de pago de Altium Designer 20, comienzan en USD \$3000 por año.
 - Altium no tiene ninguna versión libre disponible. **Esta es la principal razón por la que esta herramienta NO FUE seleccionada para el desarrollo del presente trabajo.**

Eagle

Eagle es proporcionado por Autodesk como un paquete integrado con Fusion 360, es por esto que los precios informados a continuación contienen el paquete completo:

- Eagle tiene disponible una versión gratuita limitada por un año, y que contiene una prueba gratuita con todas las funciones, vigente por 30 días
- La suscripción mensual tiene un costo de aproximadamente USD \$80.

- La suscripción anual tiene un costo de aproximadamente USD \$600.
- La suscripción tri-anual tiene un costo de aproximadamente USD \$1620.

En <https://www.softwareradius.com> se puede encontrar, adicional a la información mencionada, una serie de comparaciones entre los principales Software de diseño de PCB's como son Proteus, Fritzing, KiCad, OrCAD, entre otros.

4.4 Desarrollo CAD/CAM de un dispositivo electrónico, haciendo uso de la metodología propuesta [Objetivo específico 4].

Siguiendo los pasos anteriormente descritos para crear y modificar los modelos 3D, ya sea mediante el uso de plantillas o de modelos 3D obtenidos en formatos .Step o f3d, generados desde el Library io, se debe regresar nuevamente a la ventana que contiene la Board y dar clic en el botón **Library/update** y seleccionar la librería que se requiere actualizar, o en el caso que el proyecto contenga más de una librería, también puede elegirse la opción **Library/Update all**, como se muestra en la figura 47.

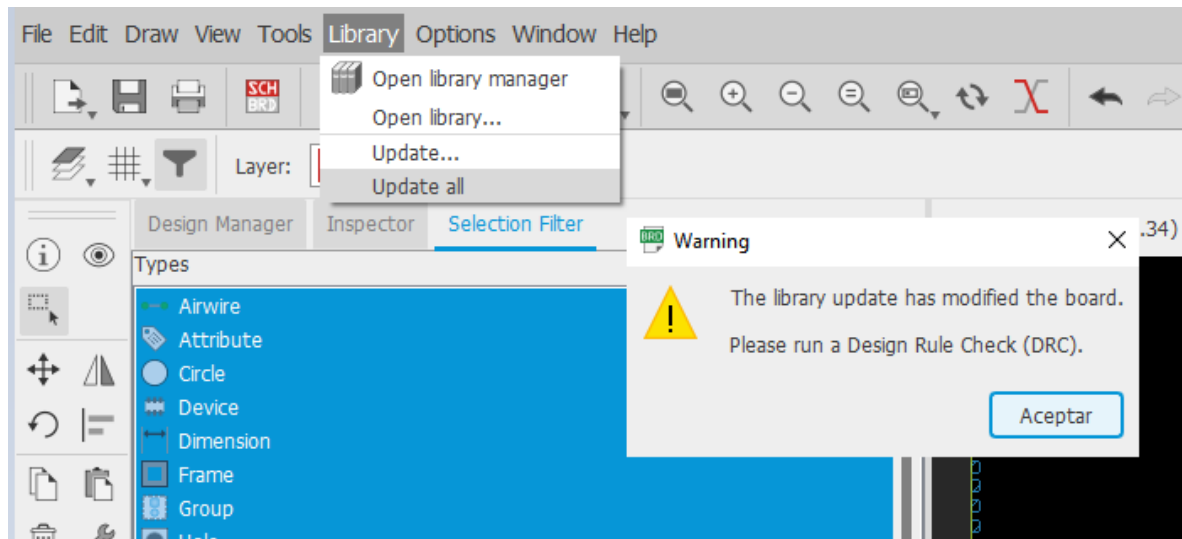


Figura 47. Actualización de las librerías y sus componentes 3D actualizados desde el Library i.o.

Al dar clic aparecerá una ventana emergente indicando que la actualización de la librería

ha modificado la board y por lo tanto se debe correr el chequeo de reglas de diseño o DRC (Design Check Rule) este paso es muy importante, si no se realiza, no será posible empujar correctamente la board a Fusion 360, adicional si la librería que se está actualizando no se encuentra asociada al proyecto, todas las modificaciones que se realicen en ella no se verán reflejadas en el proyecto, y los modelos aparecerán perdidos, una vez se hayan actualizado todos los modelos que hacen parte del proyecto, lo siguiente será como se mostró en la actividad 2, desde la board oprimir el botón **Fusion 360**, al hacerlo aparecerá una ventana emergente como se muestra en la figura 48.

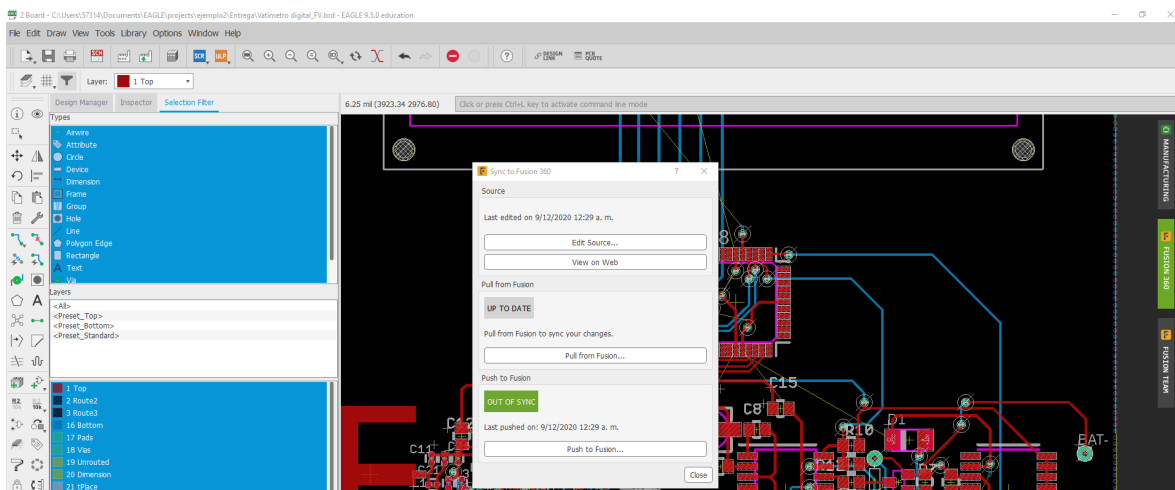


Figura 48. Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 1.

Al dar clic en la opción **Push to Fusion**, se abrirá la ventana mostrada en la figura 49, la cual, como se había visto antes, indica los modelos 3D que se encuentran modelados en la librería y los que no tienen modelo muestran una alerta, estos accesorios se ilustrarán en Fusion 360 como bloques.

Al dar clic en la opción **Push** comenzará a cargarse el modelo 3D, y una vez finalizado aparecerá una ventana emergente indicando que el proceso de exportación fue exitoso, ver figura 50.

En este momento se puede cerrar la ventana informativa y se debe abrir el programa de Fusion 360, el cual indicará en la parte superior izquierda del área de trabajo, que existen actualizaciones pendientes por realizar, por lo tanto se debe “refrescar” el programa, ver figura 51.

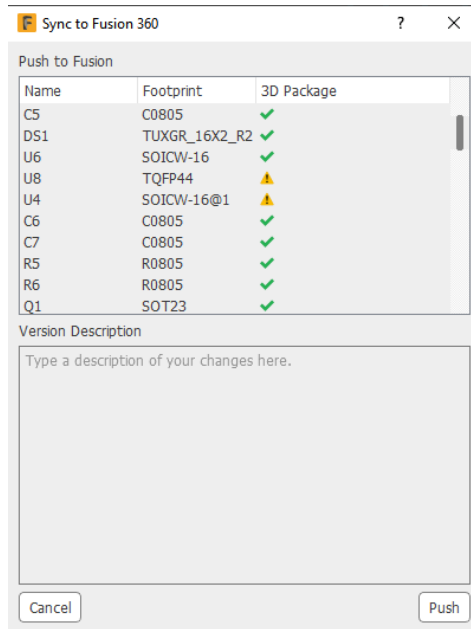


Figura 49. Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 2.

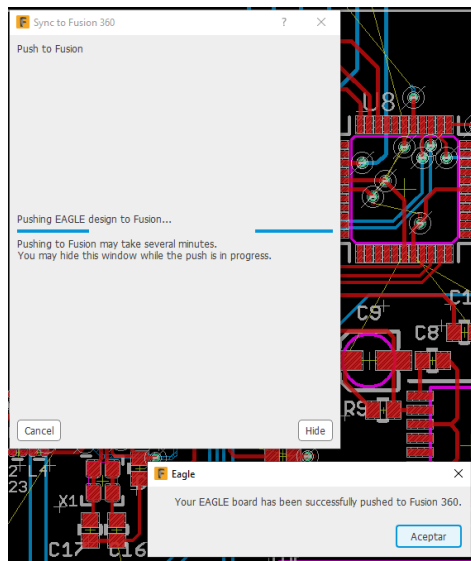


Figura 50. Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 3.

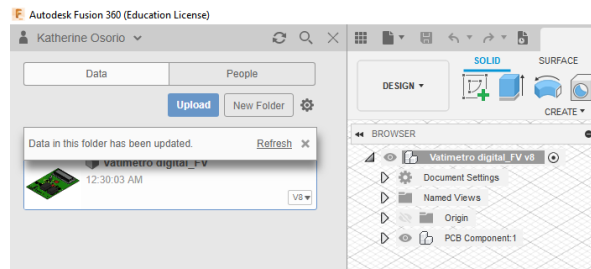


Figura 51. Push to Fusion 360. Ejemplo Vatímetro paso 4.

Una vez que se da clic en el botón de refrescar, es posible observar en la barra ubicada en el lado izquierdo, las últimas versiones de los proyectos, se debe dar clic en el proyecto que se quiera y con esto se abrirá la ultima versión del mismo, ver figura 52, observar que el modelo en 3D aún contiene modelos como bloques, estos corresponden a los modelos señalados con la alerta mostrada en la figura 49.

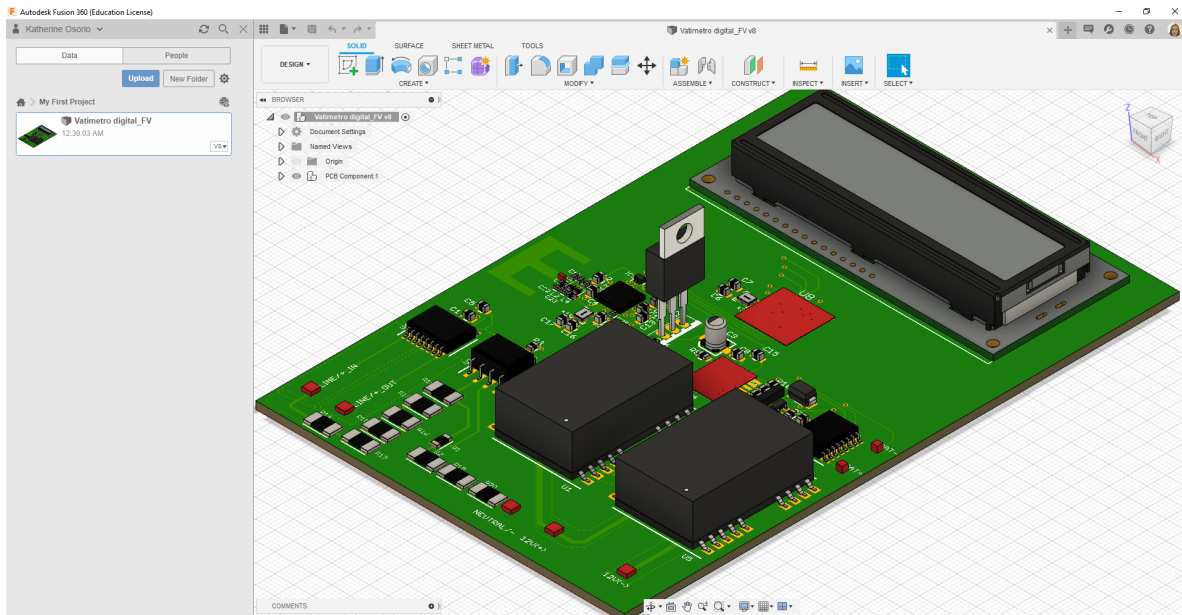


Figura 52. Resultado de la exportación del modelo desarrollado en Eagle a Fusion 360.

El siguiente pasó será renderizar el modelo 3D para visualizarlo de una forma más realista, para llevar a cabo este proceso, no se requiere instalar complementos adicionales, en la ventana de trabajo de Fusion 360, en la barra de tareas ubicada en la parte superior a partir del botón “Design” se puede realizar tareas para cambiar el espacio de trabajo como simulaciones,

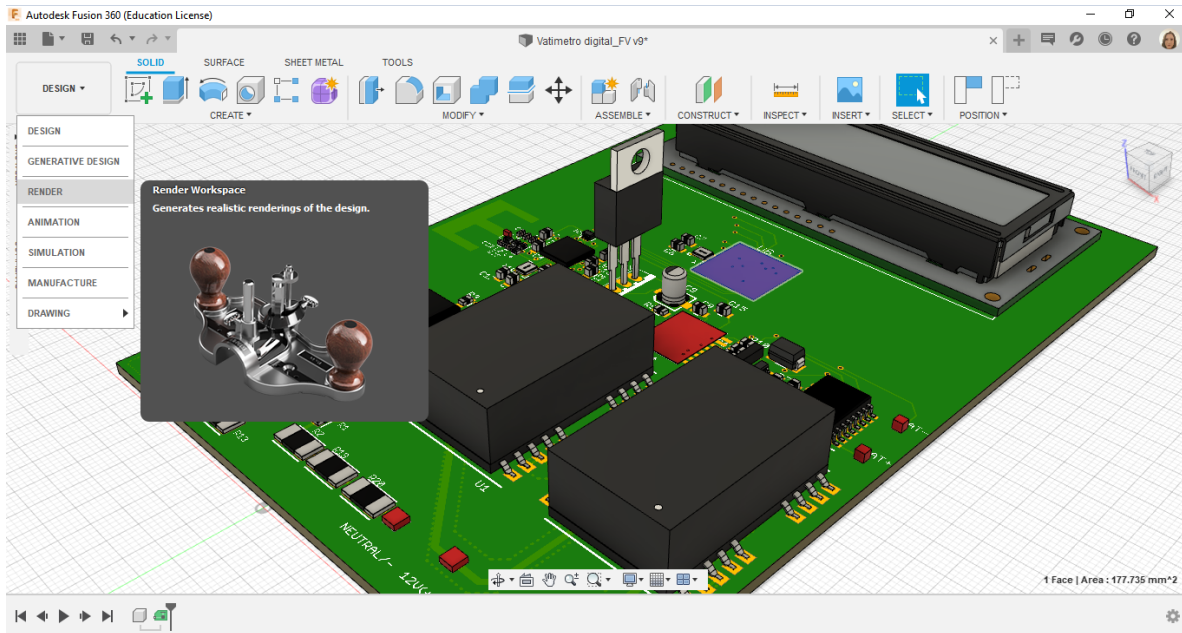


Figura 53. Renderización del modelo 3D en Fusion 360.

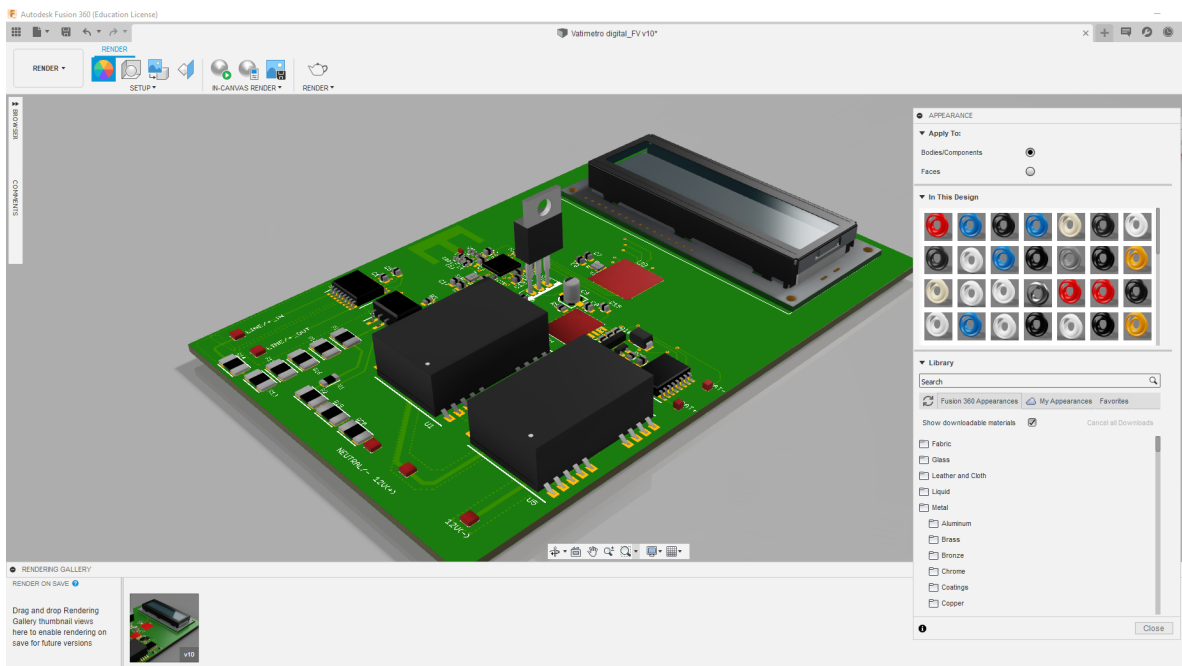


Figura 54. Librería de apariencias bajo el espacio de trabajo de renderizado.

animaciones, generar la trayectoria de manufactura, entre otros, en este caso la opción a elegir será la de renderización o “render”, Ver figura 53, al dar clic en este botón, el espacio de trabajo se adecua para visualizar las herramientas de apariencia, iluminación y otros parámetros que permitirán mejorar el efecto foto-realista del modelo, como se puede ver en la figura 54. En la medida que se adicione la apariencia de cada componente, se obtendrá un mejor efecto, [16].

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó la metodología de modelamiento 3D para la manufactura flexible de tarjetas de circuitos PCB's a partir de las herramientas de AutoDesk Eagle y Fusion 360 logrando validar efectivamente la integración del diseño de diagramas esquemáticos en 2D con el modelado 3D de los componentes en Fusion 360.
- Se determinó la metodología requerida para el modelamiento 3D de los componentes electrónicos contenidos en las librerías creadas por el usuario en AutoDesk Eagle, a partir de la herramienta Library IO con sus resultados foto-realistas visualizados en Fusion 360.
- Se analizan las implicaciones de la transición de Eagle como Software Freeware a través de la utilización de ejercicios realizados en Eagle Up.
- Se desarrolla el modelo mecánico CAD/CAM de un dispositivo electrónico completo y se logra validar el alcance de la herramienta para este efecto.

5.2 RECOMENDACIONES

Para llevar un flujo de trabajo más ágil, se recomienda trabajar los componentes electrónicos bajo un mismo nombre dentro de sus tres consideraciones, **Footprint**, **3D**, **Package** y **Symbol**, esto permite encontrar con facilidad los dispositivos electrónicos.

Se recomienda determinar una metodología para llevar a cabo el procedimiento inverso para la generación de productos CAM/CAD. Es decir, que a partir de los modelos 3D generados en Fusion 360, o importados de librerías disponibles, se puedan obtener los componentes electrónicos asociados en Eagle Autodesk.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DIGIKEY. C0805. URL <http://www.digikey.com/product-detail/en/samsung-electro-mechanics-america-inc/CL21B104MBCNNC/1276-2450-2-ND/3888108>. (document), 33
- [2] DIGIKEY. 8-sop. URL <http://www.digikey.com/product-detail/en/texas-instruments/AMC1100DUBR/296-36554-6-ND/4341535>. (document), 38
- [3] KANSAGARA, R. Basics of pcb, 2018. URL <https://circuitdigest.com/tutorial/basics-of-pcb>. 1, 4.1
- [4] S.MONK. make your own pcb ewith eagle. McGraw-Hill Education, 2014. 1, 3
- [5] R.L.MYERS. cad/cam for pcb manufacturing. pp. 500504. Springer Berlin Heidelberg, 1988. 1
- [6] S.SATTERLS. Fusion 360 integration with eagle how to, 2018. URL <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/fusion-360-integration-eagle/>. 1, 1.1
- [7] ALTIUM. Ecad/mcad collaboration, 2018. URL <https://www.altium.com/es/solutions/by-technology/ecad-mcad>. 1.1
- [8] AUTODESK. freeware license. AUTODESK. URL <https://www.autodesk.com/products/eagle/free-download?plc=F360&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>. 2
- [9] DYNAMIX. ipc design. URL <http://www.dynamixtechnology.com/ipcdesign.htm>. 3
- [10] ALDELTA. design. URL <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/>. 3
- [11] HACEDORES. welding. URL <https://hacedores.com/13-problemas-de-soldadura-de-pcbs/>. 3

- [12] AUTODESK. About autodesk, 2020. URL <https://www.autodesk.com>. 4
- [13] AUTODESK. learning center. URL <https://www.autodesk.mx/products/eagle/learning-center>. 4.1, 4.1.2, 4.3
- [14] AUTODESK. Eagle board button. AUTODESK, 2019. URL <https://knowledge.autodesk.com/support/eagle/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Difference-between-the-Fusion-360-and-Fusion-Team-buttons-in-EAGLE.html>. 4.1.2
- [15] RADIUS, Software. comparison eagle/altium, 2020. URL <https://www.softwareradius.com>. 4.3.1
- [16] FUSION 360. modeling. URL <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features#3d-modeling>. 4.4